



International Trypanotolerance Centre

P. M. B. 14, Banjul, The Gambia. West Africa
Tel (+220) 46 29 28, Fax (+220) 46 29 24
Email: itc@itc.gm



Research on Animal Nutrition

International Trypanotolerance Centre

23 – 27 February 2003

Lecomte Philippe

Rapport CIRAD EMVT N°2003-010

Mai 2003



CIRAD - EMVT
Programme Productions Animales
TA30/A - Campus de Baillarguet
CEDEX 5 MONTPELLIER
F-34398 FRANCE

© ITC / CIRAD-EMVT 2003

Tous droits de traduction, de reproduction par tous procédés,
de diffusion et de cession réservés pour tous pays.

AUTEUR: LECOMTE Philippe

ACCES AU DOCUMENT : service de Documentation du CIRAD (Baillarguet)

ORGANISME AUTEUR : CIRAD-EMVT

ACCES A LA REFERENCE DU DOCUMENT : libre

ETUDE FINANCEE PAR : PROCORDEL

AU PROFIT DE : ITC

TITRE : Research on Animal Nutrition at ITC

DATE ET LIEU DE PUBLICATION : Août 2003, Montpellier, France

PAYS OU REGIONS CONCERNÉS : Gambie

MOTS CLEFS : Gambia, Ruminant, Nutrition

RESUME :

La mission était centrée sur les aspects Nutrition à l'ITC de Banjul (Gambie). Elle a débuté par un atelier portant sur l'état de la recherche en nutrition en Afrique de l'Ouest. L'atelier rassemblait des représentants ITC, ISRA (Senegal), CIRDES et ILRI et a permis d'élaborer ensemble sur la nécessité d'établir un état actualisé des connaissances, sur ce qui a été fait en Afrique de l'Ouest et sur des recommandations en matière de recherches futures.

La suite de la mission a été consacrée à la visite du centre et de quelques projets sur ferme. Les discussions avec les chercheurs et la direction ont permis d'approfondir le contenu du programme de recherches de l'ITC et d'apprécier la volonté de partenariat et d'ouverture sur les pays dont l'ITC assure la représentation. Dans les relations avec l'Afrique de l'Ouest l'ITC peut être un partenaire de choix pour le Cirad en matière de relations avec les SNRA de la sous région. Dans la suite du Projet Procordel des alliances plus structurées seraient à promouvoir avec ITC/Cirdes.

SUMMARY:

The mission focused aspects of animal nutrition research at ITC. It started during a workshop on ruminant nutrition in West Africa, assembling people from ITC, ISRA, CIRDES and ILRI. It resulted in agreement on the need for an overview of actual knowledge, work achieved and recommendations that can be stressed for the future.

Discussions with the researchers and senior management of the current ITC work program, demonstrated the willingness for information sharing and partnership among the countries associated with ITC.

ITC could be a viable partner for relations between CIRAD and countries of the sub-region. Alliances with ITC/CIRDES should be encouraged as part of the continuation of the Procordel Project.

CONTENTS

| | |
|---------------------------------|----|
| Acknowledgements | 2 |
| Introduction | 3 |
| The ruminant nutrition workshop | 4 |
| ITC's R & D approach | 8 |
| PROCORDEL Project | 14 |
| IDRC Project | 18 |
| Conclusions | 20 |
| Contacts | 23 |
| Bibliography | 24 |
| Calendar | 24 |
| Annexes | 25 |

ACKNOWLEDGEMENTS

At the end of this backstopping mission, I would like to reiterate all my thanks to ITC and to all the participants at the ruminant nutrition workshop for the enriching discussions. More particularly, I would like to address my special thanks to Dr. Yemi Akinbamijo and Dr. Susanne Münstermann for the warm welcome, interesting presentations and stimulating discussions of the work undertaken at the Banjul Center.

The Anglophonic skills of Th. Price were helpful to improve the initial "Franglophonic" writing. I thank him particularly for his support.

INTRODUCTION

The support mission took place in the framework of the Consultancy Contract held by CIRAD-EMVT for Technical Assistance to the PROCORDEL Project. The mission followed a specific request from ITC for backstopping on research related to animal nutrition.

During the first part of the mission, I took the opportunity of the presence of representatives from local, regional and international institutions dealing with research on nutrition to organise a specific meeting focused on a “Ruminant Nutrition Review for West Africa”.

The main conclusions will be reported here, but an extended annex gives the details of the workshop course.

The second part of the mission focused on nutrition research work at ITC with an evaluation of the following items:

- Mid-Term Plan of the ITC
- ITC's R & D approach.
- PROCORDEL Project.
- IDRC Project

The objective was to to propose recommendations for:

- additional, collaborative activities in the field of *Animal Nutrition*, with special emphasis on dry season feeding, utilisation of alternative feed resources and conservation of feeds.
- interactions with other Stakeholders (NARS and International Centre partners) with interest in the field of nutrition.
- recommendations for future collaboration between ITC and CIRAD

THE RUMINANT NUTRITION WORKSHOP

A meeting of the ITC Council in March 2002 pressed for an urgent review of nutrition work in the sub-region as a major conclusion, since this still remains a major constraint in West African animal husbandry. The onus has been heavily placed on the nutritionists based in the region, drawing on relevant expertise from institutions abroad, to take a deeper look into animal nutritional issues in the sub-region. Following the identification of the actual needs in the sub-region and the challenge posed by the Council, the International Trypanotolerance Centre (ITC) in collaboration with ILRI, CIRDES, CIRAD and key NARS (ISRA, NARI, etc) held a 2-day workshop devoted to finding ways forward in ruminant nutrition research.

Following three work sessions centred on the presentation of the approaches in the different institutions, the main topics proposed for discussion were:

- Main constraints in the improvement of livestock nutrition at the producer level. Research approaches: Feeding systems vs nutritional value, where are the needs?
- Tools and indicators: toward common feeding standard expressions and common feed and forages databases networking
- Nutritional aspects linked to the response to the increasing demand on animal products: the stakes for real crop-livestock integration
- Nutrition science and local knowledge: how do we adapt innovations in the small-holder livestock systems?

The group considered the recommendations that could be put forward along the proposed terms of reference for the workshop.

It considered that the two first terms could be addressed together:

- *Evaluation of the current state of knowledge in ruminant nutrition in West Africa*
- *Review and characterization of available feeding resources (conventional, alternatives, anti-nutritional factors and secondary compounds)*

Considering the duration of the workshop it would have been difficult to really make an exhaustive inventory regarding the two points. However, the major contemporary questions appeared important to address and there is a real need to undertake an exhaustive inventory and analysis of the recent and ongoing work throughout the West Africa region. This should not limit itself to biophysical approaches on nutrition and should include a systemic approach to constraints. The participants considered that in West Africa much research work has been completed by the NARS alone or in specific association with regional institutions like ITC and CIRDES, or in collaboration with institutions addressing the priorities of the South such as ILRI and CIRAD. All four institutions also conduct their own nutrition research activities linked to the West African context.

According to the general mandates of ITC and CIRDES across their respective geographical zones of action¹ and given their specific relations with the NARS of the different countries, it appeared wise that they coordinate the inventory and operate following respective spheres of action and competencies.

No dedicated financing source is actually available to undertake the work in order to cover travel, exchanges and bibliographic compilation.

However, following the organisation of the ruminant nutrition workshop, ITC could take the initiative to organise a first step, sketching an overall framework that could be examined through an electronic exchange among the partners.

In a second step, providing a preliminary inventory is established, a proposal for an electronic conference and/or a regional ITC-CIRDES workshop could be developed to address "the future of nutrition research in West Africa and implementation through PRA". This could be built into a real project for submission for funding to financing agencies, with the support of ILRI and Cirad.

Recommendations were also provided for the establishment of a common, exhaustive database on the nutritional value of forage and feeds in the region that could be shared by all institutions. A large amount of data have been gathered inside the different NARS, regional or international institutions. Part of it has been published, but a large part still remains unexploited. To avoid duplication of similar experiments in different countries and to be able to reveal the gaps in nutrition science where effort should be stressed (for example, on intake values), such a common database would be very helpful. It could be published in the name of a large consortium of institutions. Such an initiative has to be well prepared both in terms of methodology and in terms of intellectual property rights. This could be initiated through the exchanges suggested in the previous recommendations, the first step being to provide an inventory on the available data's description (materials, quantity, parameters, expression units).

Finally, along with these two first terms of reference the group also recommended that more exchanges with large R&D institutions should be promoted in order to share tools, methods and models for on station or on field PRA experimentation and more particularly address the training needs of the NARS in the context of a regional network.

Concerning the two last terms of reference:

Definition of viable avenues for action to address the identified gaps in knowledge and practices of West African ruminant nutrition

Development of a concept note for a research and development plan to address West African nutrition issues

¹ ITC: Gambia, Guinea Bissau,, Guinea Conakry, Senegal, Sierra Leone

CIRDES: Benin, Burkina Faso, Ivory Coast, Niger and Togo, with Ghana and Mali as associated partners

Nigeria is not linked to these regional institutions, but contacts could be managed through the researchers of ITC from this country.

Similar remarks came from the different members of the group about the lack of time to reflect completely on what has to be done in the field of nutrition and to develop a complete concept note.

Following the different discussion items in the sessions, the group proposed to initiate a matrix framework of analysis describing the main three systems that were identified in common: Market-oriented Peri-urban, Low input and Transition Systems. The points covered included:

- the constraints, stressing the fact that they are in most situations of the biophysical and socio-economic order, and that the two have to be addressed;
- the needs related to these particular constraints/systems in terms of approaches and technological development;
- and, finally, a general evaluation of the potential adoption of the proposed developments.

In order to further refine the general matrix, it would be interesting to organise a general workshop at the regional level.

During the sessions, an interesting discussion took place on the recent paper of J. Sumberg². The paper examines a paradox at the centre of all the efforts undertaken till now to improve livestock production in sub-Saharan Africa. For decades livestock nutrition and animal food have been identified as critical constraints, yet producers have shown little interest in improved food technologies. The main argument is that the analyses highlighting nutrition and food as critical constraints have focused primarily on biological productivity, and are thus at odds with livestock producers' perceptions. The paper concludes by suggesting that livestock research in Africa should take greater account of different systems, situations and producers, as well as key characteristics of technology such as reliability and management flexibility.

The steps initiated through the discussions, the elaboration of the proposed matrix and the shift of scope on nutrition questions from a strictly biophysical point of view to a more integrated approach describing socio-economically associated constraints and adoption questions, highlighted the interest of a practical, effective and trans-disciplinary way of working in nutrition science and the necessity to build more active partnerships in PRA and the general conception of R&D.

² Sumberg J. , Livestock nutrition and foodstuff research in Africa: when is a nutritional constraint not a priority research problem? (*Animal Science* 2002, 75:332-338)

| System | <i>Constraints</i> | | Approaches/Technologies | Potentials for adoption |
|------------------------------------|--|---|---|--|
| | Bio-physical | Socio-economic | | |
| Cross-cutting issues | | <ul style="list-style-type: none"> - insufficient involvement of farmers - faulty analysis of the constraints | <ul style="list-style-type: none"> - Assess the demand (current and future) for livestock products in the region. Use results as baseline data for justification of nutrition research. - Promote effective information systems for marketing - Train researchers in appropriate on-farm research methodologies - Collaborate closely with extension services/producer associations/private sector as appropriate | |
| Market-oriented: Peri-urban | Insufficient high quality feed base | <ul style="list-style-type: none"> - inefficient services: supply of feeds, veterinary services, lack of supportive policies | <ul style="list-style-type: none"> - Address the demand for nutrition research results, e.g. nutrition interventions - organisation of the chain of delivery - expansion of the feed base | Potential is high |
| In transition | - | <ul style="list-style-type: none"> - lack of information on opportunities for intensification | <ul style="list-style-type: none"> - Conservation technologies (silage, hay) - dual purpose crops - put in place information systems - support to creation of Producer Associations | High need for multidisciplinary approach needed for adoption |
| Low-Input | <ul style="list-style-type: none"> - poor availability of feed resources year round - resource degradation (soils, vegetation) | <ul style="list-style-type: none"> - poor access to output markets - barriers to access to markets - limited access to inputs - lack of incentives for production - livestock owners under "poverty" conditions - lack of supportive policies | <ul style="list-style-type: none"> - prevent big losses: protection of livestock assets to overcome high mortality and morbidity - low-cost technologies to improve sustainability of nutrient recycling potential (e.g. phosphorus supplements) | Potential is fair to high |

ITC's R & D APPROACH

General framework

The goal of the R&D program at ITC is to enhance food security and human livelihoods through improved and sustainable management of livestock production and use. The research program concentrates on the two major systems identified in common with NARS partners and CORAF in the West Africa region: The low input system relies on the natural resource base and the by-products of rainfed, low input agriculture. With low animal health care, outputs are usually marginal and moderately larger than subsistence level. The Market oriented system relies on relatively important feed, drugs and labour inputs, and livestock products are targeted at meeting a demand in highly urban and peri-urban areas

Collaborative research projects mobilising 11 institutions cut across issues relevant to these two systems, organised under three main programs (details are on www.ITA.gm): LISIP - low input systems improvement program; MOSIP - market oriented systems improvement program; SOLIP - systems overlaps and linkages improvement program

Two research projects focus on or deal more specifically with nutrition issues:

P4 (LISIP) *Crop agroforestry livestock integration and resource management under varying disease risk*. Deals mainly with the hypothesis that the increasing agricultural/animal pressure on the land and resources, and that the consequently unsustainable situations in West Africa, will only be solved through better integration of agricultural, forest and livestock land uses and mutual benefiting synergies. Situation assessment call for the elaboration of methodologies, tools and approaches for decision support and prediction of integration outcomes.

P7 (MOSIP) *Establishment of feeding standards and strategies for urban and peri-urban ruminant production*. Deals more particularly with the questions that arise when looking at the increase of urban populations and the necessity to accompany development of peri-urban livestock systems. The general assessment of resource scarcity and constraints for these systems demonstrates the need to better match available local resources to the needs of the animals that in many cases are of improved, crossbred types.

The time was quite short to visit P4-related field activities in the country, since most of the available time was devoted to visits of the lab facilities, the ITC farm and dairy projects around Banjul, and discussions of P7-related activities.

Comments and recommendations

The main comments and perspectives regarding these two cross cutting research projects and specifically the aspects linked to feeding systems and nutrition, are:

Nutritional value of feeds and forage

Along the lines of a wide range of other health and quality laboratories in the field of nutrition, ITC has developed and maintains effective facilities in terms of nutritional analysis for cattle and sheep herds and of farm management capabilities. It gives the institution the opportunity to develop interesting nutritional value references on forages through classical and more recent methods (e.g. Ankom: in vitro digestibility) and to test innovative resource management plans (e.g. Moringa cultivation: feeding value and potential use as a forage for dairy cattle).

As it has been stated during the workshop, a lot of work has been done on available feeds and forage in the region. It is, however, poorly analysed and summarised overall. For all the potential end users, it remains quite laborious to have to access specific information. Along with the actual production of new scientific references, as proposed during the workshop, it would be a really interesting initiative for ITC to start joint work with other regional and international institutions to develop a comprehensive database and a state of the art review of all the work that has already been completed in the field of nutrition in West Africa up until now.

In addition, the ITC nutrition laboratory, like other regional or international laboratories, develops collections of samples referenced for chemical composition and digestibility. Classically these samples are kept during a few months or more, for eventual control, and then are generally destroyed. Near Infrared Spectrometry techniques are affordable and a good mean to preserve and capitalise on all the information contained in the samples. NIRS is a fast, low cost and non destructive analysis technique, well adapted to the qualification of organic compounds. The general principle is to apply mathematical models of the chemical composition of referenced samples to their NIR absorbency spectra, and then use these models to predict the composition of unknown samples. Many such approaches have been developed in northern countries and NIR has become a routine, low cost technique for the evaluation of feeds and forages there.

The same kind of scientific developments could be promoted in West Africa. Currently, the EMVT nutrition laboratory in partnership with ISRA Senegal has begun to develop spectral databases and calibration for tropical resources to predict quickly, accurately and at low cost the main parameters of the feeding value for the main, local resources. On going research work helps to capitalise on the large ALIATROP databases and the availability of conserved referenced samples that have been built up during nearly 20 years in the *Alimentation du Bétail Tropical* (ABT) program in Dakar. To render the calibrations more robust and applicable in differing contexts, the databases should be extended to larger sets of referenced forages, feeds, by products, forage trees, and so on... In parallel a complimentary strategy is progressing step by step to develop a NIRS network that would link laboratories in the tropics (East Africa, Indian Ocean, West Indies), within which partners could exchange spectral data and quality prediction of feeds and forage on the Internet. However, this presupposes the availability of a spectrometer in each associated laboratory, which remains quite an important investment.

The existence of an inventory of existing samples and a partnership for sharing and building up of referenced databases would be helpful to raise financial support for acquiring the equipment as part of larger projects

ITC could begin the first step of collaboration, consisting of developing with ISRA, EMVT, and interested NARS large NIR spectral database sets and calibration of regional forages. The collections of referenced samples on *Moringa* and other forages could be a good starting point.

Mineral status assessment of cattle

Specific questions were raised by Dr Akinbamijo about the development of an upcoming research project on mineral nutrition of local cattle, and in particular about aspects regarding deficiencies in selenium and the contact laboratories in Europe to help develop such an approach.

Having no personal expertise on this subject, the question was relayed to Dr. Bernard Faye at CIRAD EMVT. According to his opinion, it seems that many studies have been

realised on cattle mineral deficiencies in the past. The literature should be at first deeply reviewed (for example: *Comparative study of trace element status in camel and cow*, in *J. Camel Res. and Practice*, 1997, 4(2), 213-215). To have a good idea of the nutritional status of the animals, the best way is to collect feed samples and blood samples. Such a methodological approach is described in: *Facteurs de variation des paramètres protéo-énergétiques, enzymatiques et minéraux dans le plasma chez le dromadaire de Djibouti*. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 1991, 44, 325-334; and more specifically for trace-elements like selenium; the protocol descriptions for studies can be found in: *Comparative study of trace element status in camel and cow*, *J. Camel Res. and Practice*, 1997, 4(2), 213-215.

For further information on mineral studies on cattle the best scientific expert for mineral nutrition in France is actually F. MESCHY³.

For access to laboratory facilities and selenium analysis capability, a good contact point is at INRA: Theix, Unité Maladies métaboliques et micronutriments, tressol@clermont.inra.fr. This laboratory is fully equipped and could give all necessary support.

Evaluation of Moringa as a potential forage resource

The aspects linked to contemporary P7-related-work attempting to evaluate the use of *Moringa oleifera* as a forage are interesting as far as literature on this particular aspect has been limited. A lot of references appear on the other hand on the other, multiple uses of the plant.

Considering the potentials for animal use, an interesting article (see annex) provided by Foidl *et al* (2001) can be found on the CD ROM (already sent to ITC) detailing the papers of the Moringa International Symposium held in Dar es Salaam, Tanzania (29 October-2 November 2001).

The actual work in ITC confirms what is described in the paper, in terms of interesting feeding levels related to high protein content ($\approx 30\%$ DM) and energetic value (ME > 98.0 MJ/kg DM). The biomass production of forage can go up to 10 t DM/yr in rainfed conditions and, as it is tested in the ITC protocols, 20 t of DM can be harvested when the parcels are irrigated.

The very high feeding value equivalent to a concentrate and the important potential biomass fully justify using conservation techniques such as hay making under testing for the moment. When climatic conditions are not propitious for hay making or when manpower availability is limited at certain periods of the year, silage making could also be an interesting alternative to evaluate, as far as it allows to stockpile in a short time large quantities of resources harvested at their best quality level.

Small scale tests should be initiated to evaluate the adaptability of Moringa organic matter for rapid fermentation and reaching low pH values. Adaptability will be related to the content of fermentable sugars in the leaves and the potential buffer effects of the organic mineral compounds⁴. These parameters are unknown for the moment. In order to improve ensiling potential or increase the total ensiled biomass necessary to fill a silo, the Moringa

³ INA-PG, 1- rue Claude Bernard 75231 Paris Cedex 05 France Tel (33) 1 44 08 17 56.

⁴ As can be observed for certain legume plants when these are rich in calcium.

green forage could eventually be associated in the silo with other crop or horticultural by products, or with grasses harvested at their best quality level.

When one considers in many parts of West Africa the important biomass production potential during the rainy season and the major constraint that represents forage scarcity in the dry season, it can be questioned why more efforts have not been made to adapt technologies and most of all to confront the simple assessment that hay or silage making is generally poorly adopted by the farmers. FAO has published an interesting review on silage in the tropics⁵ where many reflections are provided on the constraints and potentials for the adoption of the technique.

The different research results already available on Moringa nutritive value and production should be integrated into a systemic approach on resource cultivation and use. An overall analysis would describe potential biomass (seasonal/annual) production according to different technical protocols of cultivation and collecting of the forage and in terms of ongoing research work focusing on the way to conserve at large scale the high rainy season biomass for use as supplementary feeding during the dry season in the local farming systems.

Going further than the classic, descriptive assessment of feeding value and total biomass potential to greater address plant functionalities in the regional farming systems and particularly to identify with local farmers the issues for introduction of Moringa cultivation into traditional practices would also constitute real progress.

Much R&D work has been done on the use of Moringa in agroforestry for different purposes (seed production, human nutrition, water quality)⁶. Even if it was until now not very documented from a scientific point of view, everybody agrees on the potential feeding value of the plant when one consider the high interest that the free roaming small ruminant puts on the young leaves and shoots of the plant. In the West African context, these fields will rapidly be destroyed if not totally fenced. The plant, well adapted, is largely present as individual village trees in local ecologies but cultivation has not become particularly widespread, exactly like the case for numerous forage grasses, legumes and trees on which very extensive nutrition research work has been done in the past.

Socio-economic contexts are rapidly changing, however. Recent development of commercial chains for forage supply to the cities or pastoral herds inside the peri-urban areas have resulted in the harvesting and collection of ground nut straw, rice straw, and other foraging by products. In the local agrosystems, it deprives the animals of an important, basic resource, and substitute solutions have to be considered. Among many other solutions, Moringa could be an interesting alternative from this point of view, given detailed scientific knowledge of its production, feeding value and conservation potential. Research should now address the complexity of promoting the adoption of the plant in the local agricultural programs given the advantages of Moringa cultivation as compared to a grasses or legumes that are already well documented for regional cultivation methods. The multiple functions of the plant (for human nutrition, wood production, shading, enriching poor soils, high forage value, etc.) would be interesting entry points.

⁵ FAO, 2000. Silage making in the tropics with particular emphasis on small holders. Ed; L. t'Mannetje. *Proc. Elec. Conf. on tropical silage*, 1 September – 15 December 1999. 180 p.

⁶ The Dar Es Salaam CD ROM contains a large representation of the literature on the subject.

Crop livestock issues

Considering the general interest at the regional level on the improvement of the relations between crop and livestock systems, it would be interesting to reinforce links and partnerships between ITC and technical/scientific local or regional expertise in cropping to jointly develop really integrated approaches with the range of possible solutions.

A lot of effort has been provided inside ITC to maintain/renovate pasture, cultivate alternative resources like Moringa, etc. Because all these technologies have well known impacts on soil fertility restoration and/or maintenance, how can these innovations be more effectively integrated into local agricultural rotation systems, be more adapted to local practices and correspond to farmers' strategies? It would be interesting to address these questions more explicitly and the way ITC research would be best fitted to overcome the problems inside the research programs.

Better profit could be taken, on the one hand, of the herd, land, farm management facilities, manpower and continuous management of the resources necessary for the herd at ITC and, on the other hand, of a highly diversified pool of researchers and technical expertise in different fields in order to develop a common program of innovations.

On farm experimentation - as agreed during the nutrition workshop - remains a very difficult approach in terms of protocols, data collection, experimental control, etc. Classically in the field of nutrition, research station work addresses very specific topics (new methodologies, resources tests, etc.). These are important types of activities that have to be maintained for progress in scientific knowledge of nutrition. They provide reference data, analysis and innovative proposals that remain quite difficult to implement in the systems mainly because of no real accompanying work has been simultaneously developed on the potential adoption of the proposed technologies.

Participatory, on farm experimentation/demonstration is also essential for development, particularly when the goal is change in local systems. Farmers' participation provides the link to real conditions for the researcher and it is particularly relevant for socio economic approaches. It is however quite difficult to scientifically test technical solutions when experimenting on the farm.

An interesting question would be to determine how a centre like ITC could relate the results generated inside the centre, where it is possible to measure accurately most of the important parameters of the system, with the perceptions, objectives and aims of the local farmers under similar conditions.

In bridging the gap between their own reality and the results produced inside a research centre, how could farmers be associated in discussions of proposed innovations when research focuses more functional approaches⁷ to feeding systems for herds than on particular solutions? Associating representative farmers in formulating questions and solutions, on station protocol building and results sharing inside the research system would be promising. Such an approach could constitute an intermediary and complementary step between on station, biophysical approaches and on farm PRA. By the way, it would reinforce the

⁷ Functional analysis of the feeding system is a concept that has been largely developed in the extension services for livestock producers in France. It proposes a global approach to system functioning according to perceptions of key periods and resource allocation to the herd during the year.

Information on the approach and examples adapted to local conditions can be found on internet sites like: http://www.cra-mp.org/groupefou/j160697/g25_1.html

<http://www.inra.fr/Internet/Produits/PA/an1997/tap1997/g2a971.pdf>

The concept is not totally transferable as such, but adaptations could be developed for local situations.

relevance of and justification for maintaining effective experimental facilities in local contexts in West Africa.

It could also constitute a valuable resource for training activities based on concepts like the Livestock Farmers' Field Schools developed at ILRI (Minjauw et al. 2002)⁸.

⁸ An extended description of the approach is provided on: <http://www.eseap.cipotato.org/upward/Events/FFS-Workshop-Yogya2002/Draft-Wor>

THE PROCORDEL PROJECT

The Procordel (*Programme de Recherche-Développement sur l'Élevage en Afrique de l'Ouest*) is a regional project funded by the European Union under EDF VIII for a period of 4 years (2000 – 2004). It covers 13 countries in West Africa. Under the auspices of CORAF and implemented through the NARS, the programme is co-ordinated by the two sub-regional Research Centres, ITC and CIRDES (Burkina Faso), with the assistance of the ILRI Socio-economist, who is based at CIRDES. The countries under the ITC mandate in this program are Senegal, Guinea, The Gambia, Guinea Bissau, Sierra Leone and Liberia.

The approach for research/development activities focuses predominantly on low-input, extensive livestock management as well as on the market oriented, peri-urban systems and their requirements. Within the two systems, along with animal health issues, animal production is being investigated as far as possible in the majority of the mandate countries in order to allow regional interpretation of the results. To put these bio-technical activities into context, relevant socio-economic investigations are also being carried out in parallel.

The following tables 2 and 3, kindly provided by S Munstermann & CIRDES, summarise the actual activities in the different centres/countries in the field of animal production and related socio-economic studies.

The goal was not to evaluate the scientific quality and effectiveness of the work under each research topic. Time was short and discussions of the particulars of each topic was not possible with the concerned researchers. However, discussions with the scientific coordinator showed that real scientific follow up is already in place.

Comments and recommendations

Looking at these tables together one is impressed by the effectiveness of the Procordel Project in aggregating research work across the different NARS in West Africa.

Even if it is more or less implicit through the classic enumeration of activities structured around the main systems and biophysical versus socio-economic approaches, the presentation below gives the impression that research work stays mainly at the stage of the assessment of particulars and is not necessarily linked to situations and activities. It does not explicitly stress how all the work effectively furnishes a strategic response of research teams to development questions.

A further step in the presentation of the common work led by ITC and CIRDES would be to try to structure the overall activities around major thematic areas and ideas for potential solutions. Such a presentation would be helpful to show how each individual project corresponds to particular phases of a general strategy of innovative implementation, closely linking biophysical assessment, new developments and socio-economic approaches to problems.

Related to this, an evaluation/presentation of the “science for development” strategy of ITC and CIRDES for the Procordel Project could be completed largely inspired by the work proposed by the School of Management Sciences of Lyon (Professor Philippe Portier⁹). It describes the R&D work in phases that is detailed in table 4

⁹ A powerpoint file with a presentation of the general evaluation step has been given to Procordel Coordinator during the mission.

As an example in terms of nutritional research approaches, looking at the "Moringa" research topic ITC made a strategic review of the interesting aspects of the plant a few months ago. The review presented different hypotheses on the specific research necessary to address key questions. The work can thus be positioned between phases of feasibility testing and development in the following way:

| Phase | |
|------------------------------|---|
| Strategic exploration | <ul style="list-style-type: none"> • Recent development of a commercial and export chain of ground nut straw deprives the animals of a classic, important resource • Moringa cultivation and use as a forage for ruminants may be an idea to respond to seasonal resource and protein constraints |
| Hypotheses generation | <ul style="list-style-type: none"> • Biomass can be improved through irrigation • Early cuttings improve the feeding value • Energetic and protein value can make it like a concentrate |
| Feasibility tests | <ul style="list-style-type: none"> • Cultivation test, biomass evaluation • Lab Feeding value studies |
| Specifying solution | <ul style="list-style-type: none"> • Ex: hay making feasibility • Feeding trials on dairy cows |
| Development | <ul style="list-style-type: none"> • Exploratory trials in Guinea |
| Launch | |
| Diffusion | |

The description of the situation stresses the fact that there are still some steps to complete, mainly in terms of potential adoption of the technology for Moringa cultivation in the cropping systems. This raises interesting questions for research and exposes the fact that the socio-economic approach to this specific innovation proposal has until now not been sufficiently addressed.

Far from a criticism, it gives an idea that such research program could be transformed into a real strategy for implementation, providing a more integrated approach including a closer partnership with stakeholders, local beneficiaries and expertise in other disciplines (systems approach, socio-economy, etc.). This would complement the mainly biophysical approaches developed to date.

Such a general approach could be applied to much of the research work developed in the PROCORDEL Project. Without a deep examination of the approach, a common evaluation of work done by ITC and CIRDES in the EU project would establish the relevance of work actually done and the existence of a real strategy that would constitute the justification for the continuation of the financial support to the research institutions in the region with future FED funding.

Table 2 Research topics at ITC & its partners in the Procordel Project

| LOW INPUT SYSTEM | |
|--|--|
| Animal Production Research | Socio-economic Research |
| <ul style="list-style-type: none"> - Development of supplementation strategies based on locally available products (Moringa: <i>The Gambia, Guinea</i>) NPN (<i>Guinea</i>) - Pure breeding programme for indigenous cattle and small ruminants to increase local, traditional types of stock production (<i>The Gambia, Guinea</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Description of livestock systems in 3 regions of Guinea (<i>Guinea</i>) - Study of the Mancagne and Manjac systems of animal production (<i>Guinea Bissau</i>) - Description of dairy systems: study of milk production, marketing and consumption in different production systems (<i>Guinea, Senegal, G. Bissau</i>) |
| MARKET ORIENTED SYSTEM | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Production of F1 (A.I. (<i>The Gambia, Guinea</i>) and productivity and economic evaluation of cross-bred cattle (<i>The Gambia, Senegal, Guinea</i>) - Definition and evaluation of locally available feed resources for peri-urban milk production (<i>The Gambia, Guinea Bissau</i>) - Fodder plant cultivation (<i>Senegal</i>) - Stabulation with small-scale milk transformation units (<i>Guinea Bissau</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Effects of policy reforms on livestock performance and productivity in different production systems (<i>The Gambia, Senegal</i>) - Analysis of livestock production inputs: feed and veterinary products (<i>The Gambia</i>) |

Table 3. Research topics at CIRDES & partner countries in the Procordel Project

| LOW INPUT SYSTEM | |
|---|--|
| Animal Production Research | Socio-economic Research |
| <ul style="list-style-type: none"> - CLASSIFICATION OF LIVESTOCK SYSTEMS (<i>CIRDES, BURKINA FASO, GHANA, TOGO</i>) - Mapping of distribution of cattle breeds (<i>Cirdes</i>) - Livestock practices and chemical resistance/ choice of cattle breeds (<i>Cirdes</i>) - Dynamics of production systems (<i>Cirdes</i>) - Soil use and the dynamics of production systems (<i>Cirdes</i>) - Landscape dynamics (<i>Burkina Faso</i>) | <ul style="list-style-type: none"> Impacts of institutional reforms on the development of anima production (<i>Cirdes</i>) Study of supplementary feed, anima traction and the role of small ruminants (<i>Cirdes</i>) |
| MARKET ORIENTED SYSTEM | |
| Animal Production Research | |
| <ul style="list-style-type: none"> - CLASSIFICATION OF MILK-PRODUCING LIVESTOCK SYSTEMS AND DIAGNOSIS OF CONSTRAINTS (<i>BURKINA FASO, CIRDES, CÔTE D'IVOIRE, MALI, NIGER, TOGO</i>) - Genetic improvement by cross-breeding (<i>Burkina Faso, Cirdes, Côte d'Ivoire, Mali,)</i> - Putting in place technical innovation and monitoring of technical and economic impacts (<i>Burkina Faso, Cirdes, Bénin</i>) - Integration of forage crops into agriculture and livestock production systems (<i>Burkina Faso, Cirdes, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Togo</i>) - Livestock raising practices and choices in cattle breeds (<i>Cirdes</i>) - Analysis of success rates for artificial insemination (<i>Cirdes</i>) - Trials of forage crops (<i>Cirdes, Bénin, Côte d'Ivoire</i>) - Summary of results on short-cycle species (<i>Cirdes</i>) | <ul style="list-style-type: none"> Socio-economic monitoring of milk production groups (<i>Burkina Faso, Cirdes, Mali, Niger, Togo</i>) |

Table 4 Phases in a strategy of R&D innovation implementation

| <i>Phase</i> | Strategic Exploration | Hypothesis Generation | Feasability Tests | Specifying Solutions | Development | Launch | Diffusion |
|---------------------------|---|---|--|--|--|--|--|
| <i>Content</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Research Ideas responding to thematic questions • Selection of ideas according to strategic priorities | <ul style="list-style-type: none"> • Identify research hypotheses related to specific ideas • Choose the most relevant hypotheses | <ul style="list-style-type: none"> • Validation of the hypotheses through methodologies guaranteeing the quality of the results | <ul style="list-style-type: none"> • Identify adoptability of solutions by the interested partners | <ul style="list-style-type: none"> • Participate in the implementation of solutions in collaboration with lead partners | <ul style="list-style-type: none"> • Participate in the collective adoption process for solutions adapted to the needs and perceptions of the beneficiaries | <ul style="list-style-type: none"> • Accompany the enlarged process of diffusion of differentiated solutions |
| <i>Potential Products</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Strategic project; cross cutting issues; Network, social demand, market & economic chain identification | <ul style="list-style-type: none"> • Bibliography, theses, monographs colloquias, research and financing, partnership network identification | <ul style="list-style-type: none"> • Methodologies & Protocols for experimental tests, experimental network for scientific articles, Symposia | <ul style="list-style-type: none"> • Norms Prototype Process and know how, software frame for innovation networks | <ul style="list-style-type: none"> • Licenses; Genetic Material; Pre-series • pilot process; software • Certification | <ul style="list-style-type: none"> • Distribution contracts • Serial production of technological transfer; Teaching and training; Books, chapters, labels | <ul style="list-style-type: none"> • Contractual expertise • Atlas, guides, memos • database, web site, collections • promotion of actions • brands |
| <i>Tools</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Prospective economic & scientific intelligence • technologies portfolio • Strategic positioning | <ul style="list-style-type: none"> • Bibliographic research • Brainstorming • Epistemology of research • Capitalisation of demand • Weak signals | <ul style="list-style-type: none"> • Experimental protocols • Quality research process • Concurrent Benchmarks • Expert validation | <ul style="list-style-type: none"> • market studies • specification book • Concept Tests • Business Plan | <ul style="list-style-type: none"> • Technical charges booklet • Reception process • Product tests | <ul style="list-style-type: none"> • Launch plan • Solution adoptability • Differentiation & adaptation of the solutions • Geographic deployment | <ul style="list-style-type: none"> • Promotion plan • Optimisation & maintenance program • Impact studies • Evaluation |
| <i>Socialisation</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Strategic partnership • Funders: society, enterprises, scientific institutions | <ul style="list-style-type: none"> • Research partnerships (competencies) • NARS North & South | <ul style="list-style-type: none"> • Experimentation of partnerships (field) with NARR, farmers, others | <ul style="list-style-type: none"> • Innovation partnerships with producers organisations, small enterprises | <ul style="list-style-type: none"> • Development partnership | <ul style="list-style-type: none"> • Prescription Partnerships (NGOs, other organisations, extensionists) | <ul style="list-style-type: none"> • Diffusion information regarding partnerships, NGOs, producers, distributors, media |

THE IDRC PROJECT

The project is a continuation of a previous study on the intensive horticulture-livestock integrated approach to urban food production and response to increasing animal protein demand in the cities. As is the general case for crop-livestock integration, the approach aims here at exploiting the benefits of the horticulture-livestock synergy which include increased income generation from sales of animal products, *in situ* production of organic manure and reduced cost of production, positive impact on soil and water, and a rational use of natural resources. In an 'open-air laboratory' approach, ITC researchers began the transfer of improved production technologies to the farm at The Banjulinding Horticultural Garden (BHG). Managed by the village women, it is one of the many horticultural gardens operating in the Banjul area. The International Development Research Centre (IDRC) through its Cities Feeding People Initiative provided financial support for ITC to undertake an interactive, on-farm research program that addresses many factors affecting peri-urban food production systems. The project contributes as an important component of the Market Oriented Systems Improvement Programme (MOSIP) objective at ITC. A similar approach is being developed in Dakar under the supervision of ISRA.

Like many of the other horticultural gardens of the region, the Banjulinding farm is operating round the year under rain-fed and irrigated systems. Consequently, it also generates substantial quantities of biomass such as crop residues with appreciable nutritive values for ruminant livestock.

The 4 main topics and objectives of the project are:

- Alternative feed resources and integrated approaches to urban production systems
- Toxicological implications of horticulture-livestock integrated systems for nutrient recycling
- Socio-economic factors affecting peri-urban integrated farming systems
- Capacity building of resource constrained peri-urban farmers

The first point focuses clearly on nutrition aspects and intends to deal with the promotion of the increased use of alternative resources through improved availability, management and preservation, analyses and formulation of optimum nutrient recycling, and integration of new high biomass accompanying crops. It will produce an inventory of the available resources, their characteristics and the means of preservation. An evaluation of the nutrient flow will be based on cultivation rotation calendars.

Linked to what is done at the station centre, research is at this point really on experimenting and testing under farm conditions. The visit to the farm showed the existence of facilities appropriate to conduct animal feeding and manure production utilisation trials. The subject specifically addresses horticulture and livestock, and many condition are combined to provide a really systemic evaluation.

Recommendations

The recommendations here would be to try to complete the proposed approach and methodologies on situation assessment and particular resource evaluation with a really well detailed approach of the long term functioning of the feeding system in terms of herd needs and forage feed excess/lack of alternating periods. The approach would develop real scale system management solutions, adapted to efficiently and continuously feeding a small herd in an optimal way.

Forage resource conservation techniques are important to evaluate since horticulture regularly provides high masses of by products through cultivation and unmarketable products of very high feeding quality. As stated above, "pit" or other small scale silage making could be an interesting innovation here to adapt as far as possible in these systems given that farmers are regularly facing, on the one hand, high manpower allocation needs for harvesting, sorting, packaging and delivering of the main products and, on the other hand, high mass of by products with generally high moisture content that cannot easily be field cured (rainy conditions, piles of unsorted by products, etc.), or transported/sold outside. When it is left in piles, it will rapidly ferment and all the foraging potential will be lost, so it will end up in composted organic fertiliser useful for soil improvement.

Associating animals is common sense and an interesting idea. It does however complicate the overall system in technical terms of constant herd size and feeding needs management, and of the quality and quantities of resource management over time. This is particularly the case when the system is associating improved potential animals like, for example, F1 dairy cows. From the socio-technical and organisational point of view, it raises also new issues of manpower allocation, farmers' organisation and production chain linkages.

Technical solutions exist and research work at the ITC station participates in providing such solutions. Work mainly needs to be scaled according to season or the year, herd size and quantified needs dimensions, not solely by testing and demonstrating the effectiveness of each particular technical improvement solution but accompanied with a functioning biotechnical approach.

These approaches, if they are scientifically relevant in the field of animal production science, will always have poor adoption potential if they are not carefully and effectively accompanied with steps identified by the social sciences, and also if these are not at the start effectively associating the end users to the innovation building process.

The fact that the IDRC project take place in the real conditions of a farm with a large group of individual farmers gives the maximum opportunity to have an effective co-development of solutions with the farmers and to optimise the chances of adoption.

There are no well tried and tested scientific methodologies to achieve such goals. It is mainly a question scientific communication and awareness-building and of finding ways to effectively associate ITC competencies with different scientific approaches around the common challenge of final adoption of proposed solutions.

CONCLUSIONS AND FINAL RECOMMENDATIONS

In the field of *Animal Nutrition*, different specific recommendations have been made during the workshop on livestock nutrition and on the key topics that can be focused on when looking at ITC projects linked to nutrition.

More generally, taking into account the pool of competencies constituted by the researchers in the different disciplines, the logistical facilities (experimental farm, on farm experimentation capacity, nutrition laboratory, computer room, and group formation facilities etc.), it has to be considered that ITC has many (if not all) of the assets necessary to build and promote innovative approaches and integrated responses to alleviate the feeding resource constraints for livestock production in West Africa. These assets have to be fully used through deeper discussions around common protocols associating researchers of different disciplines inside ITC.

The institution is thus in an attractive position for other NARS, regional partners and international institutions like CIRAD or ILRI. Partnership building at different levels (internal, local, regional, international) has to be promoted as the only way to provide an effective, practical and integrated approach to the multiple constraints and finding the solutions that are needed for the future of livestock production in the region. There are, however, no "good scientific recipes" on the way to build and manage the most effective partnerships, mainly because each situation is particular and is part of a constantly evolving process. An effective ITC strategy in terms of opening to the NARS in the region has to be further refined and reinforced.

On resource management and animal nutrition research, specific programs of collaboration should be developed between ITC, ITC/CIRDES and CIRAD on the following topics:

Quality of forage and feeds

To maximise the value of the large databases and referenced samples developed in the past in close collaboration with ISRA, the CIRAD nutrition laboratory is actually developing Near Infrared Spectroscopy calibration for fast, accurate and low cost prediction of the feeding values of tropical resources. As part of a longer term strategy of laboratory networking in West Africa, a first step for collaboration with CIRAD could consist of developing a NIR spectral database and calibrations on the collections of samples of *Moringa* and other forage that have been or will be analysed at ITC. A two month operational stay of a researcher in Montpellier could be organised for this purpose. This stay could also be an occasion to continue progress on the constitution of a common, easy to consult West African database on the Composition and Feeding values of the main regional resources. The EMVT Animal Production Program modelling team already has specialised expertise in database structuring, management and Web-based information diffusion.

Animal needs and nutritional adaptation in harsh environments

As stated by Bernard Faye during his mission in 2001, the Animal Production Program is largely investing in tropical milk production research and action through the CIRAD TROPILK group initiative. The facilities existing in ITC Banjul would totally justify more

structured collaboration for future research, particularly on the aspects of the evaluation of the metabolic adaptation of local & F1 crossbred lactating cows, the intake capacity of the animals, and feeding strategies follow up methodologies. These aspects still need to be more deeply documented in the modelling of recommended dairy feeding systems adapted to the types of animals and to the environmental constraints of West Africa. The interactions between nutrition and reproduction are particular aspects of resource use management. Recently CIRAD's Animal Production Program has built a scientific consortium (Unité Mixte de Recherche: UMR-Elevage des Ruminants en Régions Chaudes) with the School of Agronomy in Montpellier (ENSAM) and the National Institute of Agricultural Research (INRA), which has a specific team focusing on nutrition/reproduction interactions. The consortium sponsors and supervises doctoral training and research. The animal production team in CIRDES will also be reinforced in future months, with the assignment in Bobo Dioulasso of a pastoralist, an agro-zootechnician and in the course of next year a veterinarian specialised in reproduction questions. In relation with these institutional initiatives, and on the scientific questions evoked above, interesting collaborative research including PhD theses, could be developed as part of a collaborative research partnership between ITC, CIRDES, CIRAD and UMR-ERRC.

Resource management – Crop & livestock integrated systems

From a similar perspective, in order to connect tropical milk development issues and resource management, more references need to be acquired in terms of appropriate conservation technologies and technical protocols, identification of constraints to adoption, and functional analysis of resource management.

Under the thematic area of the sustainable integration of crop and livestock systems, soil fertility restoration, key farming practices, innovative no tillage and direct mulch cover seeding systems, many new questions in terms of interactions and synergy optimisation between cropping and livestock management practices should be addressed. For example, relevant protocols for forage exploitation are needed to develop dual purpose forage parcels on which resources are partly collected for animal feeding and partly preserved as biomass for coverage in direct mulch cover in a seeding rotational system. The ITC station could effectively participate in future to developing approaches on these emerging subjects. Close collaboration with G. Rippstein, actually at ISRA Senegal with long-term expertise on these forage management options, should be developed on these particular questions. The positioning in CIRDES of two CIRAD livestock and agro pastoralism scientists (E. Vall and J. Cesar) after September of this year will also offer a real opportunity to develop collaboration on these two thematic areas of resource management and crop/livestock system approaches. Contacts should rapidly take place between the institutions to further elaborate on the specific topics for collaboration that could be developed.

Dynamic modelling of the agroecosystem

Much data can be collected from the ITC experimental sites on the multiple uses of resources in animal production. It could be shared with the members of the Modelling Team of the AP Program in order to advance in the field of dynamic modelling of the multiple functions of resource use and evolutionary trends of intensifying, integrated systems.

These aspects are also included as a main thematic area within CIRAD's AP Program and the UMR ERRC in Montpellier. A CCIRAD scientist has recently been appointed as a resource modeller, and he will particularly focus his work on emerging integrated systems.

Collaborative work and eventually proposals for PhD supervision inside the UMR ERRC would be welcome.

Training activities

This particular aspect is a main pillar for any R&D research institution. ITC is far from neglecting this aspect when one considers the efforts that are made to maintain physical facilities, improve the computer equipment and organise training sessions. Related to needs expressed in terms of on farm protocol building, statistical experimentation, data treatment, and to the existence of a well equipped computer laboratory in the ITC, the expertise of S. Messad (EMVT PA Modelling Team) in statistical training could also be shared in a collaborative program.

In relation to the on farm experiments in The Gambia as well as in other partner countries, it would also be interesting to develop joint research actions between ITC, CIRDES, CIRAD and ILRI on innovative approaches adapted to the specific implementation of cattle nutrition questions, and resource management on concept and methods for Participatory Research Action and more specifically for emerging R&D strategies for the Livestock Farmers Field Schools. This will also soon be part of the questions addressed in the research program that E. Vall will develop in CIRDES on support services for draft animals and milk livestock small holders. As has been indicated for the crop livestock research aspects, contacts should rapidly take place between the institutions to identify specific proposals for collaboration.

Finally, having in mind all the recommendations above in the field of nutrition and resource management, the linkages and the work that are progressively building on emerging activities in this particular field between ITC, Cirdes, CIRAD and the regional NARS in the Procordel Project would merit a common effort to reflect on the ways and means to pursue and emphasise a real partnership for action across West Africa at the end of the project.

CONTACTS

| ORGANISATIONS (country) | NAMES | TITLE |
|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| ITC, Gambia | Dr Kwaku Agyemang | Director |
| ITC, Gambia | Dr S Münstermann | Regional Scientific coordinator |
| ITC, Gambia | Dr Y Akinbamijo | Nutrition Research |
| ITC, Gambia | Dr Abdou Fall | Animal scientist |
| CIRDES, Mali | M. Dicko | Regional coordinator Procordel Cirdes |
| ISRA, Senegal | Dr S Fall | Director LNRV (Haan) Dakar |
| ILRI, Ethiopia | Dr S Fernandes | Director Nutrition dpt |
| ITC, Gambia | Dr Nouala S | Nutritionist |
| ITC, Gambia | Dr A. Schoenefeld, | Veterinarian, extensionist |
| ITC, Gambia | S. Nouala | Nutritionist |
| ITC, Gambia | A S.Adediran, | Nutritionist |

BIBLIOGRAPHY

- ITC (2001) Actualités dans l'intégration agriculture-élevage dans les villes ouest-africaines. Ed.O.O. Akinbamijo, S.T. Fall, O.B. Smith. International Trypanotolerance Centre, Banjul, The Gambia, 214 p.
- Foidl N., Makkar H.P.S. et Becker K. ('2001) .Potentiel de Moringa oleifera en agriculture et dans l'industrie. In Proc. International workshop: Potentiel de développement des produits du Moringa . 29 octobre - 2 novembre 2001, Dar es Salaam, Tanzanie.
- Propage (2001) Proceedings of the international workshop: Potentiel de développement des produits du Moringa . 29 octobre - 2 novembre 2001, Dar es Salaam, Tanzanie. CD - ROM.
- ITC/ISRA (2002) Integrated Periurban Systems: Horticulture and livestock in West African cities (phase 2) IDRC Grant proposal. 38 p.
- ITC (2000) Medium term plan. Policy research strategy & research projects 2001 – 2004. ITC, Banjul, 38 p.
- ITC (2002) Past achievements shaping opportunities in a changing world, Biennial report 2000 – 2001. ITC, Banjul, 58 p.
- Faye B. (2001) Research on periurban dairy system in Gambia. Mission report 2001 – 63, Cirad Emvt, Baillarguet, 21 p.
- ITC / CIRDES (2002) Semi annual report n°4, Procordel REG / 6157. Period Jan. – jun 2002.

CALENDAR

Sunday 23/02 Departure Brussels – Banjul.

Monday 24/02 Workshop Animal nutrition review.

Tuesday 25/02 Workshop continued and closed pm

Wednesday 26/02 am visit ITC facilities, discussion with S Munstermann
Pm visit of farms and Banjulding experimental site
Discussion on nutrition issues with Fr Y Akinbamijo

Thursday 27/02 a.m. Document compilation; Discussion with the researcher continued
p.m Final restitution
Departure for Dakar

ANNEXES

Ruminant nutrition review proceedings

Foidl N., Makkar H.P.S. et Becker K. (2001) .Potentiel de Moringa oleifera en agriculture et dans l'industrie. In Proc. International workshop: Potentiel de développement des produits du Moringa . 29 octobre - 2 novembre 2001, Dar es Salaam, Tanzanie.

POTENTIEL DE *MORINGA OLEIFERA* EN AGRICULTURE ET DANS L'INDUSTRIE

Foidl N., Makkar H.P.S. et Becker K.

Nikolaus Foidl, P.B. 432, carr. Sur Km 11, casa N°5, Managua, (Nicaragua)
tel : +505 2 265 85 88 email : Biomasa@ibw.com.ni

INTRODUCTION

Moringa oleifera Lam. (Synonyme: *Moringa pterigosprema* Gaertner) appartient à une famille monogénérique d'arbres et arbustes, les Moringacées. Il semble être originaire des régions d'Agra et de Oudh, au nord-est de l'Inde, au sud de la chaîne de montagne de l'Himalaya. *Moringa oleifera* est mentionné dans le « Shushruta Sanhita », écrit au début du premier siècle avant J-C, sous le nom de « Shigon ». Mais il semble que la culture de cet arbre en Inde ait en fait été établie il y a plusieurs milliers d'années. Les Indiens savaient que les graines, qu'ils utilisaient en médecine, contenaient de l'huile comestible. Il semblerait également que la plupart des gens connaissent sa valeur en tant que fourrage ou comme légume. Cet arbre se rencontre à l'état naturel jusqu'à 1000 m d'altitude, il pousse relativement bien sur les versants mais est plus répandu dans les zones de pâturages et les bassins des rivières. Il pousse rapidement, jusqu'à 6 ou 7 mètres en un an, même dans des zones recevant moins de 400 mm de précipitations annuelles (Odee, 1998).

Dans la langue Dravidiennne, on trouve diverses appellations locales pour désigner cet arbre, mais la plupart dérivent du nom générique « Morunga ». En anglais, on le connaît sous les noms de « Horseradish tree », « Drumstick tree », « Never die tree », « West Indian Ben tree », ou encore « Radish tree ».

Moringa oleifera est aujourd'hui cultivé à travers le Moyen-Orient, ainsi que tout le long de la ceinture tropicale. Il a été introduit en Afrique de l'Est au début du 20^{ème} siècle. Au Nicaragua, le « Marango » (nom local de *Moringa oleifera*) a été introduit dans les années 1920 comme plante ornementale et utilisé dans les haies vives. Bien qu'étant répertorié dans les inventaires forestiers à travers tout le pays, c'est dans la partie occidentale qu'il est le plus répandu et qu'il se développe le mieux. Il n'est pas cultivé mais on le connaît pour ses capacités de résistance à la sécheresse et aux maladies. Du fait de ses nombreuses utilisations potentielles, nous avons conduit ces 10 dernières années un programme de recherche extensive sur cet arbre, avec le soutien financier du gouvernement autrichien et de l'Université de Hohenheim, Stuttgart. Les nombreuses propriétés valorisables de cette plante en font un sujet d'étude très intéressant. En voici quelques exemples : la forte teneur en protéines des feuilles, des brindilles et du tronc ; la forte teneur en protéines et en huile des graines ; la forte teneur des graines en polypeptides ayant la capacité de former des aggrégats avec diverses particules en suspension dans l'eau ; la présence dans les feuilles de facteurs de croissance ; et enfin la forte teneur en sucres et en amidon de la plante en elle-même. De plus, la plupart des organes de l'arbre ne contiennent pas de toxines qui pourraient restreindre leur utilisation dans l'alimentation humaine ou animale. Pour la simplicité et la clarté du texte, le terme « Moringa » sera utilisé pour désigner *Moringa oleifera* dans la suite de cet article.

IMPORTANCE SOCIO-ÉCONOMIQUE

Moringa est l'un des arbres tropicaux les plus utiles. Il se propage relativement facilement, aussi bien de manière végétative que sexuée, et il est peu exigeant en eau et matières minérales. Ainsi, sa production et son entretien sont aisés. L'introduction de cette plante au sein d'une ferme dans un environnement riche en biodiversité peut être bénéfique à la fois pour l'exploitant et pour l'écosystème environnant.

MORPHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES PHYSIOLOGIQUES

Moringa est un arbre pérenne, à croissance rapide, qui peut atteindre 7 à 12 mètres de hauteur et dont le tronc mesure 20 à 40 cm de diamètre.

Tronc

Le tronc est généralement droit, mais il est parfois très peu développé. En général, il atteint 1,5 à 2 mètres de haut avant de se ramifier, bien qu'il puisse parfois atteindre les 3 mètres.

Branches

Les branches poussent de manière désorganisée et la canopée est en forme de parasol.

Feuilles

Les feuilles, alternes et bi ou tripennées, se développent principalement dans la partie terminale des branches. Elles mesurent 20 à 70 cm de long, sont recouvertes d'un duvet gris lorsqu'elles sont jeunes, ont un long pétiole avec 8 à 10 paires de pennes composées chacune de deux paires de folioles opposés, plus un à l'apex, ovales ou en forme d'ellipse, et mesurant 1 à 2 cm de long (Morton, 1991).

Fleurs

Les fleurs mesurent 2,5 cm de large et se présentent sous forme de panicules axillaires et tombants de 10 à 25 cm. Elles sont généralement abondantes et dégagent une odeur agréable. Elles sont blanches ou couleur crème, avec des points jaunes à la base. Les sépales, au nombre de cinq, sont symétriques et lancéolés. Les cinq pétales sont minces et spatulés, symétriques à l'exception du pétale inférieur, et entourent cinq étamines.

Fruits

Les fruits forment des gousses à trois lobes, mesurant 20 à 60 cm de long, qui pendent des branches. Lorsqu'ils sont secs, ils s'ouvrent en trois parties. Chaque gousse contient entre 12 et 35 graines.

Graines

Les graines sont rondes, avec une coque marron semi-perméable. La coque présente trois ailes blanches qui s'étendent de la base au sommet à 120 degrés d'intervalle. Un arbre peut produire 15000 à 25000 graines par an. Une graine pèse en moyenne 0,3 g et la coque représente 25% du poids de la graine (Makkar et Becker, 1997). Les caractéristiques physiques des gousses et des graines sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Propriétés physiques des gousses et des graines de Moringa

| Détermination | 1 | 2 | 3 |
|---|-------|-------|-------|
| Poids moyen des gousses (g) | 7,60 | - | 7,95 |
| Poids moyen des graines par gousse (g) | 3,59 | 5,03 | 4,83 |
| Nombre moyen de graines par gousse | 12,00 | 17,00 | 16,00 |
| Poids moyen de 100 graines (g) | 29,90 | 29,60 | 30,20 |
| Poids moyen de 100 amandes (g) | 21,20 | - | 22,50 |
| Poids de l'amande par rapport au poids de la graine (%) | 72,50 | - | 74,50 |
| Poids de la coque par rapport au poids de la graine (%) | 27,50 | - | 25,50 |
| Teneur en eau de l'amande (%) | 4,50 | - | 6,50 |
| Teneur en eau de la coque (%) | 9,20 | - | 12,90 |
| Teneur en eau de la graine (%) | 5,80 | - | 7,50 |

1. Ferrao et Ferrao (1970) ; 2. Foletti (communication personnelle) ; 3. Biomasa

UTILISATION DU MORINGA

La figure 1 indique les principales utilisations des différents organes de la plante, qui seront présentées en détail dans la suite de l'article.

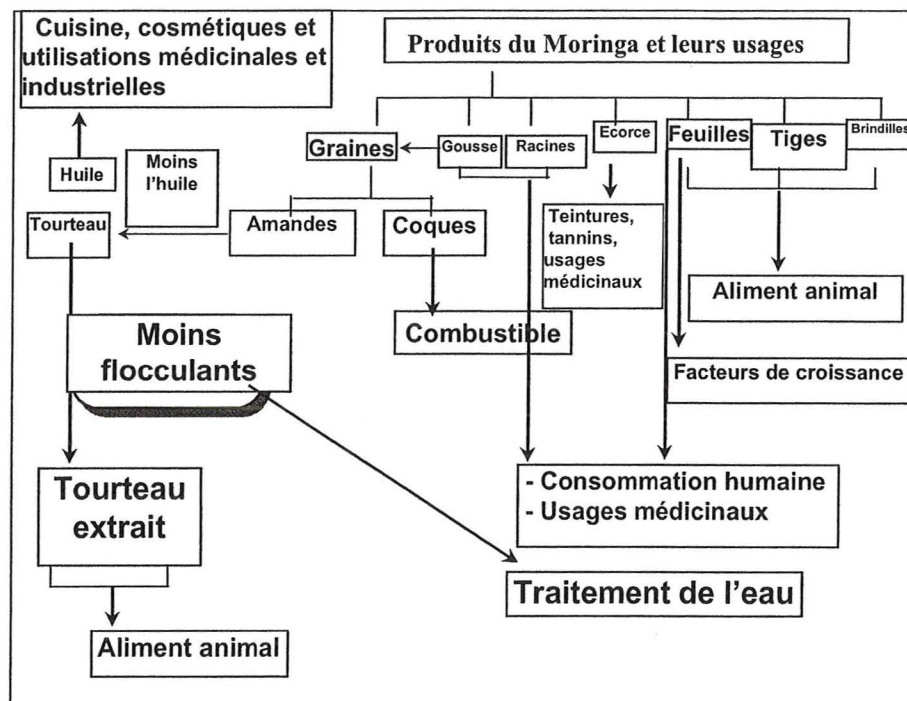


Figure 1 : Utilisations des différents organes de Moringa.

Consommation humaine

Les jeunes feuilles sont comestibles et sont couramment consommées cuites, comme des épinards, ou préparées en soupe ou en salade. Elle sont exceptionnellement riches en provitamine A, en vitamines du groupe B et C, en minéraux (et en particulier en fer) et en acides aminés méthionine et cystéine, sources de soufre. La composition en acides aminés des protéines contenues dans les feuilles est équilibrée pour l'alimentation humaine.

Tableau 2 : Teneur en minéraux de feuilles de Moringa issues d'arbres de différentes origines agroclimatiques (Becker et Makkar, données non publiées)

| Minéral | Nicaragua | Inde | Niger |
|---|-----------|-------|-------|
| Macro-éléments (g.kg⁻¹ MS) | | | |
| Calcium | 17,50 | 26,40 | 13,90 |
| Phosphore | 1,16 | 1,36 | 1,22 |
| Magnésium | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| Sodium | 1,16 | 2,73 | 2,61 |
| Potassium | 19,10 | 21,70 | 18,40 |
| Micro-éléments (mg.kg⁻¹ MS) | | | |
| Fer | 582,0 | 175,0 | 347,0 |
| Manganèse | 47,1 | 51,8 | 113,9 |
| Zinc | 13,5 | 13,7 | 24,2 |
| Cuivre | 11,2 | 7,1 | 10,6 |

Les jeunes gousses vertes sont très goûteuses et peuvent être consommées bouillies comme des haricots. C'est lorsque l'on peut facilement les casser sans laisser de fibres apparentes que les gousses sont les meilleures pour la consommation humaine. Elles sont riches en leucine libre. Avant d'être consommées, les graines doivent d'abord être bouillies quelques minutes et égouttées, et la fine pellicule transparente qui les recouvre ôtée car celle-ci procure un goût amer. Les graines doivent être consommées vertes, avant qu'elles ne virent au jaune.

Les graines sèches peuvent être réduites en poudre et utilisées pour assaisonner les sauces. Les racines des jeunes plants peuvent également être séchées et réduites en poudre pour relever l'assaisonnement, avec un goût proche de celui du raifort. C'est pour cette raison que Moringa a été appelé « Horseradish tree » en anglais (Delaveau et Boiteau, 1980). Une sauce épicée et goûteuse peut aussi être préparée en les cuisinant au vinaigre. Les fleurs peuvent être consommées après avoir été blanchies ou crues comme ingrédient d'une salade. La résine issue du tronc peut encore être utilisée pour épaissir les sauces.

Tableau 3 : Teneur en caroténoïdes de différents organes de Moringa (Becker et Makkar, données non publiées)

| Caroténoïde | Organe | | |
|------------------|------------------------|----------|---------|
| | Feuilles | Branches | Graines |
| | mg.kg ⁻¹ MS | | |
| Alpha-carotène | 6,5 | n.d. | n.d. |
| Beta-carotène | 401 | n.d. | 3,8 |
| Echinénone (?) | n.d. | n.d. | n.d. |
| Fucoxanthine | n.d. | n.d. | n.d. |
| Lutéine | 702 | 21,8 | 4,0 |
| Myxoxanthophylle | n.d. | n.d. | n.d. |
| Néoxanthine | 219 | 5,9 | n.d. |
| Violaxanthine | 76,5 | 1,3 | n.d. |
| Zéaxanthine | 19,4 | n.d. | n.d. |
| Xanthophylles | 83,1 | 1,6 | n.d. |
| Caroténoïdes | 1508 | 34,4 | 4,0 |
| Chlorophylle | 6890 | 271,1 | n.d. |

n.d. : non détecté

Tableau 4 : Teneur en vitamine C de feuilles de Moringa de trois provenances, et de plantes cultivées à Hohenheim à partir de graines du Nicaragua (Becker et Siddhuraju, données non publiées)

| Provenance | Teneur en vitamine C (g.kg ⁻¹ MS) |
|-----------------------------------|--|
| Nicaragua* | 9,18 |
| Inde* | 8,36 |
| Niger* | 6,78 |
| Nicaragua* (cultivé à Hohenheim) | 7,09 |
| Nicaragua** (cultivé à Hohenheim) | 9,67 |

*analysé à partir de feuilles lyophilisées

**analysé à partir de feuilles fraîches

Utilisations industrielles de l'huile de Moringa

La teneur en huile des graines décortiquées, c'est-à-dire des amandes, est d'environ 42%. L'huile est d'un jaune brillant. Elle est utilisée comme lubrifiant dans la machinerie fine, comme l'horlogerie, pour sa faible tendance à se détériorer et devenir rance et collante (Ferrao et Mendez Ferroa, 1970 ; Ramachandran *et al.*, 1980). Elle est également utilisable comme huile de cuisine. Grâce à sa capacité à absorber et à retenir les substances volatiles, elle est également intéressante dans l'industrie des parfums pour stabiliser les senteurs. La teneur en acides gras libres varie de 0,5 à 3%.

L'huile des graines de Moringa contient environ 13% d'acides gras saturés et 82% d'acides gras insaturés. Elle est particulièrement riche en acide oléique (70%) (Tableau 5). Les huiles végétales classiques contiennent généralement de l'ordre de 40% d'acide oléique.

Tableau 5 : Propriétés physico-chimiques et composition en acides gras de l'huile des graines de Moringa

| Propriété | Valeur | |
|---------------------------------------|--------------|------|
| | 1 | 2 |
| Point de saponification | 182,9 | |
| Indice d'iode | 66,4 | |
| Densité à 20°C (g.mL ⁻¹) | 0,89737 | |
| Indice de réfraction à 20°C | 1,4670 | |
| Point de solidification* (°C) | 6 | |
| Acides gras libres | Jusqu'à 2,98 | |
| Composition en acides gras (%) | | |
| Acide laurique | Traces | n.d. |
| Acide myristique | 0,08 | 0,05 |
| Acide pentadécanoïque | Traces | n.d. |
| Acide palmitique | 5,45 | 4,75 |
| Acide palmitoléique | 1,48 | 1,22 |
| Acide margarique | 0,08 | - |
| Acide margaroléique | 0,05 | - |
| Acide stéarique | 5,42 | 5,66 |
| Acide oléique (C18-1) | 72,9 | 71,0 |
| Acide linoléique | 0,76 | 0,46 |
| Acide linoléinique | 0,14 | 0,09 |
| Acide arachidique | 3,39 | 4,01 |
| Acide gadoléique | 2,2 | 2,24 |
| Acide éicosadiénoïque | - | n.d. |
| Acide béhénique | 6,88 | 9,03 |
| Acide érucique | 0,14 | 0,13 |
| Acide lignocérique | 0,92 | 1,12 |
| Acide nurvonique | Traces | - |
| Acide cérotique | - | n.d. |
| Autres acides gras | 0,10 | 0,2 |

*Méthode D-97

n.d. : non détecté

1. Thionville Laboratories Inc., New Orleans, USA (March 1994)

2. Becker et Siddhuraju (données non publiées)

Purification de l'eau

Les graines de Moringa contiennent 30 à 42 % d'huile, et le tourteau obtenu comme sous-produit lors de l'extraction de l'huile est très riche en protéines. Certaines de ces protéines (environ 1 %) sont des polyélectrolytes cationiques actifs d'un poids moléculaire de 7-17 kDalton. Les polyélectrolytes cationiques neutralisent les matières colloïdales dans les eaux boueuses ou sales, puisque la majorité de ces matières ont une charge électrique négative. Cette protéine peut donc être utilisée comme polypeptide naturel non toxique pour provoquer la sédimentation des particules minérales et organiques dans les processus de purification de l'eau potable, de filtration de l'huile végétale ou de sédimentation des fibres dans la production de bière et de jus de fruits. Elle agit donc comme un coagulant primaire en créant en permanence des ponts naturels entre les particules colloïdales, contrairement aux coagulants industriels qui sont parfois toxiques, si bien que leur utilisation correcte exige une main d'œuvre qualifiée. La majorité des pays en développement n'a pas les moyens de produire ces coagulants industriels, qui sont chers et grèvent lourdement les réserves en devises de ces pays.

Les propriétés des polypeptides naturels obtenus à partir des graines de Moringa sont connues depuis des siècles en Chine. Lors de la colonisation de l'Inde par les Britanniques, ces connaissances ont été disséminées ailleurs dans le monde. Elles ont été mises à profit très efficacement en Egypte et au Soudan, notamment, pour purifier l'eau du Nil pour la consommation humaine. Les graines séchées sont d'abord débarrassées de leurs ailes, puis broyées pour obtenir une poudre que l'on mélange avec de l'eau. On agite le mélange pendant cinq minutes, puis on le laisse reposer pendant une heure avant de le filtrer sur un tissu pour obtenir de l'eau pure. Une autre méthode consiste à suspendre dans l'eau une poche en tissu contenant la poudre de graines, généralement pendant une nuit, pour faire coaguler les impuretés. On enlève ensuite la poche de poudre, et l'eau purifiée est décantée pour laisser les particules coagulées au fond du récipient. Il est possible d'éliminer ainsi jusqu'à 99 % des matières colloïdales. Il suffit d'une seule graine pour purifier un litre d'eau légèrement contaminée, et de deux pour un litre d'eau très sale.

A l'université technique de Biomasa, des études ont été menées sur l'utilisation de graines de Moringa pour le traitement final dans des unités d'épuration des eaux usées. Dans les lagons d'oxydation, 80 % de la DBO de l'eau provient d'algues monocellulaires. De plus, ces algues renferment 40 à 60 % de l'azote et du phosphore contenus dans les eaux usées avant traitement. Pour éviter l'eutrophisation des cours d'eau et des lacs par l'écoulement de charges importantes de phosphore et d'azote, les graines peuvent être utilisées pour coaguler les algues et les éliminer par sédimentation. Ce traitement permet d'éliminer jusqu'à 98 % des algues présentes. Après sédimentation, les eaux résiduelles deviennent claires et transparentes. Ce traitement réduit d'autre part la DBO de l'eau d'environ 70%, et sa teneur en phosphore et en azote de 60 %. Les algues récupérées après sédimentation puis séchées et pulvérisées contiennent environ 46 % de protéines et peuvent être utilisées pour compléter les rations protéiques des bovins, des porcs, des poulets et même des crevettes, ce qui réduit considérablement les coûts de leur alimentation. Sous les tropiques, les eaux usées dans un lagon d'oxydation d'un hectare peuvent donner jusqu'à 80 tonnes d'algues sèches par an.

Pour assurer le traitement final des eaux usées d'une ville de 10 000 habitants, il faut environ 960 kg de tourteau de Moringa par jour. Une plantation d'environ 105 hectares à 1100 arbres/hectare permettrait donc de produire assez de graines pour traiter les eaux usées de la ville. Cependant, le volume et le poids importants de la tourteau de Moringa pose des problèmes de stockage et de gestion. Le département de Biomasa a donc développé un processus permettant de concentrer les polypeptides par ultrafiltration après leur extraction à l'eau et à l'alcool. Cette forme post-concentrée élimine 80 % du poids total tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques utiles du produit. La forme pré-concentrée présente d'autre part un goût amer qui doit être éliminé avant incorporation dans des produits alimentaires. Notre expérience suggère que la capacité de clarification/floculation des graines de *M. oleifera* varie selon la saison, et les résultats des comparaisons entre *M. stenepetala* et *M. oleifera* doivent donc être interprétés avec prudence.



Photo 1 : Une plantation de Moringa pour la production de graines (Foidl)

Accélérateurs de croissance végétale

L'extrait à l'éthanol à 80 % obtenu à partir des feuilles de Moringa contient des facteurs de croissance (hormones du type cytokinine). Cet extrait peut être utilisé en aspersion sur les feuilles pour accélérer la croissance des jeunes plants. Ce traitement aux hormones de croissance augmente aussi la robustesse des plants et leur résistance aux maladies. De plus, les fruits sont plus abondants et plus gros, ce qui augmente le rendement des arbres lors de la récolte. L'extrait s'obtient soit par pressage, soit à l'aide d'un ultra-turrax avec filtration de 20 g de feuilles tendres dans un volume total de 675 ml d'éthanol aq. à 80 % (Makkar et Becker, 1996).

L'aspersion des feuilles avec l'extrait de Moringa préparé avec de l'éthanol à 80 % puis dilué dans de l'eau produit des effets significatifs : croissance plus vigoureuse sur un cycle de vie plus long ; racines, tiges et feuilles plus robustes, fruits plus gros, teneur plus élevée en sucres, etc. L'utilisation de cet extrait permet d'augmenter globalement les rendements de 20 à 35 % (chiffres obtenus à partir de données sur le diamètre des tiges, le nombre de nodules, de bourgeons axillaires, de bourgeons floraux et de fruits par bourgeon floral- voir Tableaux 6 et 7).

Tableau 6 : Effets de l'application d'un extrait de feuilles de Moringa préparé à l'éthanol sur les nodules, les bourgeons et les racines de la légumineuse *Vigna mungo* L

| Concentration de l'extrait à l'éthanol (%) | Poids moyens frais de différents organes de la plante (mg/plante) | | |
|--|---|-----------|---------|
| | Nodules | Bourgeons | Racines |
| 0 | 16.4 | 600 | 350 |
| 0.08 | 54.0 | 1 100 | 403 |
| 0.16 | 49.6 | 990 | 550 |
| 0.24 | 35.0 | 890 | 660 |
| 0.32 | 30.0 | 800 | 800 |
| 0.40 | 25.4 | 700 | 700 |

Source : Bendona Bose, département de Botanique, Université de Gorekhpur

Une expérience menée pour tester la rétention de chlorophylle a révélé que des concentrations de 0,08 à 0,16 % donnent les taux de rétention les plus élevés.

Tableau 7 : Quelques résultats obtenus par aspersion foliaire d'une phytohormone naturelle extraite du Moringa.

| Culture | Effets de l'hormone du Moringa | Rendement avec hormone (kg/manzana*) | Rendement sans hormone (kg/manzana*) |
|-------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Arachide (traçante) | Fleurs plus grandes MS plus élevée Rendement amélioré Fruits de meilleure qualité | 3 750 | 2 954 |
| Soja CEA-CH 86 | Fleurs plus grandes Biomasse plus élevée Rendement amélioré | 2 182 | 1 591 |
| Maïs NB-6 | Rendement amélioré | 6 045 | 4 454 |
| Sorgho H887-V2 | Rendement amélioré | 3 234 | 2 787 |
| Oignon (sondeo) | Poids moyen plus important | 2 954 | 2 591 |
| Granex | Floraison améliorée | - | - |
| Tomate (sondeo) | | | |
| Santa Clara | | | |
| Cantaloup | Moins de chutes de fleurs après pollinisation Pourcentages plus élevés en sucres et minéraux | 11 592 (melons)** | 8 820 (melons)** |
| Poivron | MS plus élevée | 17 380 | 11 752 |
| Yolo Wonder | Fruits plus lourds | | |
| Café | Grains plus gros Formation des fèves améliorée | 1 682 (partiellement nettoyés) | 1 409 (partiellement nettoyés) |
| Canne à sucre | Plus de pousses par souche plantée Pourcentages de sucres et minéraux plus élevés | 82 400 | 77 320 |
| Haricot noir Dor-364 | Rendement amélioré | 1 125 | 945 |
| Haricot noir Esteli 150 | Rendement amélioré | 841 | 886 |

* 1 manzana = 0,705 hectares ou 7 050 m²

** fruit individuel

Données du projet Biomasa (1999)

Le Moringa comme source de biogaz

Des plants de Moringa (âgés de 30 jours environ) sont broyés avec de l'eau. Les fibres sont séparées par filtration sur des mailles de 5 mm. La fraction liquide est ensuite ajoutée à un réacteur à biogaz. Pour une alimentation moyenne de 5,7 g de matières solides volatiles, la production de gaz s'élève à 580 litres/kg de solides volatils. La teneur moyenne en méthane du gaz produit est de 81%.

Le Moringa comme essence fourragère

Les qualités nutritives du Moringa sont excellentes, ce qui en fait une source de fourrage de très bonne qualité pour les bovins et facilement accessible. Les feuilles sont riches en protéines, en carotène, en fer et en acide ascorbique, et les gousses ont une teneur élevée en lysine, un acide aminé (CSIR, 1962 ; Chawla *et al.*, 1998; Dogra *et al.*, 1975). D'autre part, le Moringa présente le net avantage de produire une grande quantité de matière fraîche à l'unité de surface par rapport à d'autres plantes fourragères (voir ci-dessous : productivité des plantations de Moringa). Le Moringa est une source de fourrage particulièrement intéressante tant en termes économiques qu'en termes de productivité, compte tenu des problèmes que connaissent les éleveurs (les petits élevages représentent 70 % du cheptel national du Nicaragua). Les principaux problèmes sont les suivants :

- a) Fourrage rare en saison sèche, qui s'étend de décembre à mai.
- b) Manque de pâturage, du fait que les paysans sont propriétaires de petites superficies généralement peu entretenues et mal gérées.
- c) Déséquilibres alimentaires en raison du manque de protéines, de féculents et de minéraux.
- d) Faible maîtrise de la reproduction des troupeaux, qu'il s'agisse de la planification dans le temps des accouplements ou de la qualité des reproducteurs.

Constituants chimiques

La teneur en protéines des feuilles fraîches ne varie guère en fonction de la provenance (Tableau 8).

Tableau 8 : Composition chimique (% MS) des feuilles fraîches et des fruits de Moringa

| Fraction | MS (%) | PB | FB | EE | Ca | P |
|--------------------------------|--------|------|------|-----|------|------|
| Feuilles fraîches ¹ | 18,7 | 29,0 | 19,1 | 5,2 | 2,06 | 0,24 |
| Feuilles fraîches ² | - | 25,1 | - | 5,4 | - | - |
| Feuilles fraîches ³ | - | 26,4 | - | 6,5 | - | - |
| Fruits | 10,7 | 20,7 | 27,0 | 1,0 | - | - |

MS : Matière sèche ; PB : Protéines brutes (Nx6,25) ; FB : Fibres Brutes ; Ca : Calcium ; P : Phosphore

¹Bengladesh ; ²Nicaragua ; ³Inde ; ⁴Sri Lanka

Nous avons montré précédemment que l'application d'un extrait de Moringa dans l'éthanol à 80% augmentait la nodulation et la production de plusieurs espèces cultivées. Des cultures de Moringa à grande échelle ont été mises en place dans plusieurs pays, tels que le Malawi, le Kenya, l'Inde, la Tanzanie et le Nicaragua. Une grande quantité de résidus foliaires est obtenue après l'extraction des accélérateurs de croissance des feuilles, qu'il faut valoriser au mieux. Dans l'objectif d'utiliser les feuilles, fraîches ou après extraction, dans l'alimentation du bétail, nous avons donc analysé celles-ci pour leur teneur en nutriments et en facteurs anti-nutritionnels (Makkar et Becker, 1996). La composition chimique des feuilles, fraîches et après extraction, est donnée dans le tableau 8. La teneur brute en protéines des feuilles fraîches et après extraction est respectivement de 25,1 et 43,5%, suggérant que les dans les deux cas, les feuilles constituent une bonne source de protéines pour l'alimentation du bétail. La teneur brute en protéines et en fibres est, comme on pouvait l'attendre, supérieure dans les feuilles après extraction. En effet, une certaine quantité de composés cellulaires solubles et de lipides sont éliminés lors du traitement à l'éthanol à 80%. En accord avec nos données, Gupta *et al.* (1989) ont rapporté des teneurs brutes en protéines, lipides et minéraux de 26,4%, 6,5% et 12%, respectivement, dans les feuilles fraîches. En revanche, les mêmes auteurs ont rapporté des teneurs plus élevées en fibres extraites au détergent neutre (28,8 contre 21,9%) et au détergent acide (13,9 contre 11,4%). Ces variations peuvent s'expliquer par des différences de conditions agro-climatiques ou d'âge des arbres, mais probablement pas par différents stades de maturité, des feuilles vertes et tendres ayant été utilisées dans les deux études.

Tableau 9 : Composition chimique des feuilles de Moringa, après extraction à l'éthanol à 80% ou fraîches

| Type de feuilles | Protéines brutes | Lipides | Minéraux | FDN | FDA | LDA | Energie brute (MJ.kg ⁻¹ MS) |
|------------------|------------------|---------|----------|------|------|-----|--|
| Après extraction | 43,5 | 1,4 | 10,0 | 47,4 | 16,3 | 2,2 | 17,7 |
| Fraîches | 25,1 | 5,4 | 11,5 | 21,9 | 11,4 | 1,8 | 18,7 |

Toutes les valeurs, sauf l'énergie brute, sont exprimées en % de la matière sèche.

FDN : fibres extraites au détergent neutre ; FDA : fibres extraites au détergent acide ; LDA : lignine extraite au détergent acide

Composition en acides aminés des feuilles de Moringa

Le profil d'acides aminés des feuilles de Moringa est présenté dans le tableau 10. La teneur en acides aminés (en g/16g N) des feuilles fraîches est plus faible que celle des feuilles après extraction. Ceci est dû à une quantité plus importante d'azote non protéique dans les feuilles fraîches (4,7% contre 2,7%). La valeur alimentaire potentielle des protéines (comme source d'acides aminés) peut être évaluée par comparaison avec le profil de référence de la FAO (Zarkadas *et al.*, 1995). Tous les acides aminés essentiels sont présents à une concentration supérieure par rapport à celle préconisée par la FAO, l'OMS et l'ONU, pour les enfants de 2 à 5 ans, dans la protéine de référence. La comparaison de la teneur en acides aminés essentiels entre les feuilles après extraction, fraîches et le soja donne des valeurs comparables pour tous les acides aminés (Bau *et al.*, 1994 ; Srakar et Peace, 1994).

Tableau 10 : Composition en acides aminés des feuilles de Moringa après extraction et fraîches

| Acide aminé | Composition en acides aminés des feuilles après extraction | | Composition en acides aminés des feuilles fraîches | | Composition en acides aminés de la protéine de référence de la FAO* |
|------------------|--|---------|--|---------|---|
| | g/16 g N | g/kg MS | g/16 g N | g/kg MS | g/16 g N |
| Lysine | 6,61 | 26,77 | 5,60 | 14,06 | 5,80 |
| Leucine | 9,86 | 42,89 | 8,70 | 21,84 | 6,60 |
| Isoleucine | 5,18 | 22,53 | 4,50 | 11,30 | 2,80 |
| Méthionine | 2,06 | 8,96 | 1,98 | 4,97 | 2,50 |
| Cystine | 1,19 | 5,18 | 1,35 | 3,39 | 2,50 |
| Phénylalanine | 6,24 | 27,14 | 6,18 | 15,51 | 6,30 |
| Tyrosine | 4,34 | 18,88 | 3,87 | 9,71 | 6,30 |
| Valine | 6,34 | 27,58 | 5,68 | 14,26 | 3,50 |
| Histidine | 3,12 | 13,57 | 2,99 | 7,50 | 1,90 |
| Thréonine | 5,05 | 21,97 | 4,66 | 11,70 | 3,40 |
| Sérine | 4,78 | 20,79 | 4,12 | 10,34 | - |
| Acide glutamique | 11,69 | 50,85 | 10,22 | 25,65 | - |
| Acide aspartique | 10,60 | 46,11 | 8,83 | 22,16 | - |
| Proline | 5,92 | 25,75 | 5,43 | 13,63 | - |
| Glycine | 6,12 | 26,62 | 5,47 | 13,73 | - |
| Alanine | 6,59 | 28,67 | 7,32 | 18,37 | - |
| Arginine | 6,96 | 30,28 | 6,23 | 15,64 | 1,10 |
| Tryptophane | 2,13 | 9,26 | 2,10 | 5,27 | - |

*Données tirées de Zarkadas *et al.* (1995)

Energie métabolisable (EM) et digestibilité de la matière organique (DMO)

L'énergie métabolisable (EM) et la digestibilité de la matière organique (DMO) des échantillons ont été prédits à l'aide de la méthode de Menke *et al.* (1979) (plus la valeur numérique est élevée, plus la valeur nutritionnelle de l'échantillon est bonne). L'EM et la DMO ont été calculées d'après les teneurs en constituants chimiques (protéines brutes, lipides et minéraux) données dans le tableau 8, et la production de gaz observée après 24 h de fermentation dans des tubes clos tel que décrit dans Menke *et al.* (1979). Les valeurs de l'EM et de la DMO sont respectivement de 9,5 MJ.kg⁻¹ et

74% pour les feuilles fraîches, et de 9,2 MJ.kg⁻¹ et 75,7% pour les feuilles après extraction. Ces valeurs sont légèrement inférieures à celles observées dans les aliments couramment utilisés pour l'alimentation du bétail. Pour les deux types de feuilles, l'EM est du même ordre de grandeur que celle des fourrages frais, tandis que la DMO est supérieure d'environ 5% (Tableau 11).

Tableau 11 : Teneurs brutes en protéines (PB) et en fibres (FB), énergie métabolisable (EM) et digestibilité de la matière organique (DMO) de tourteaux d'oléagineux couramment utilisés dans l'alimentation animale (par rapport à la matière sèche) (d'après Close et Mencke, 1986)

| Aliments | PB (%) | FB (%) | EM (MJ.kg ⁻¹) | DMO (%) |
|--|--------------|--------|---------------------------|---------|
| Tourteaux | | | | |
| Tourteau de ricin, <i>Ricinus</i> , (préparation commerciale) | 38,5 | 32,3 | 6,9 | 47 |
| Tourteau de noix de coco, <i>Cocos nucifera</i> | 23,7 | 16,2 | 11,9 | 81 |
| Tourteau de graines de coton, <i>Gossypum</i> spp., décortiquées | 51,5 | 8,8 | 10,6 | 73 |
| Tourteau de graines de coton, <i>Gossypum</i> spp., partiellement décortiquées | 41,7 | 19,2 | 10,5 | 74 |
| Tourteau d'arachides, <i>Arachis hypogaea</i> , décortiquées | 56,3 | 6,4 | 12,5 | 86 |
| Tourteau d'arachides, <i>Arachis hypogaea</i> , partiellement décortiquées | 51,3 | 10,7 | 12,0 | 83 |
| Tourteau de graines de lin, <i>Linum usitatissim</i> | 38,7 | 10,3 | 12,2 | 79 |
| Tourteau de graines de moutarde, <i>Sinapis alba</i> | 42,2 | 10,8 | 11,9 | 83 |
| Tourteau de graines de colza, <i>Brassica napus</i> | 39,4 | 14,0 | 10,9 | 77 |
| Tourteau de graines de soja, <i>Glycine max</i> | 51,4 | 6,7 | 13,0 | 92 |
| Tourteau de graines de tournesol, <i>Helianthus annuus</i> | 42,0 | 15,1 | 10,6 | 75 |
| Fourrages frais | | | | |
| Luzerne, avant floraison | 22,1 | 23,7 | 10,0 | 70 |
| Trèfle rouge, en fleur | 17,5 | 24,3 | 9,6 | 70 |
| Trèfle blanc, en fleur | 21,5 | 20,3 | 9,7 | 70 |
| Lupin blanc | 22,0 | 23,9 | 10,9 | 79 |
| Mûrier* | Jusqu'à 27,6 | 48,0 | 11,3 | 64 |
| Feuilles de <i>Moringa oleifera</i> | | | | |
| Après extraction | 43,5 | 47,4 | 9,2 | 75,7 |
| Fraîches | 25,1 | 21,9 | 9,5 | 74,1 |

*Fibres extraites au détergent neutre (et non fibres brutes)

Dégradabilité des protéines

Le test *in vitro* de dégradabilité des protéines brutes dans le rumen (DPBR), après 24 h d'incubation, donne des valeurs de 44,8 et 48,6% respectivement pour les feuilles de Moringa après extraction et fraîches. Des valeurs beaucoup plus élevées de dégradabilité des protéines sont rapportées pour les tourteaux de graines (Krishnamoorthy *et al.*, 1995). Negi *et al.* (1989) ont trouvé des valeurs faibles de dégradabilité des protéines dans le rumen (16 à 40%) pour des fourrages issus d'arbres contenant des tannins. La teneur en fibres extraites au détergent acide (FDA) est respectivement de 16,3 et 11,4% pour les feuilles de Moringa après extraction et fraîches, et la teneur en protéines de la fraction FDA (PIDA, protéines insolubles extraites au détergent acide) est respectivement de 13,2 et 9,8%. La fraction PIDA représente respectivement 5 et 4,4% des protéines brutes totales pour les feuilles de Moringa après extraction et fraîches. Ces protéines ne sont pas disponibles pour l'animal. La plus forte teneur en protéines de la fraction FDA obtenue dans les feuilles après extraction par rapport aux feuilles fraîches peut s'expliquer par la précipitation de protéines solubles lors de l'extraction à l'éthanol à 80% (l'éthanol à 80% est en effet utilisé pour précipiter les protéines en solution). Ces protéines précipitées restent dans le

résidu (que l'on désigne par «feuilles après extraction») après le traitement à l'éthanol. En général, ces protéines sont solubles dans les solutions au détergent acide, mais le traitement à la chaleur (80°C) utilisé pour sécher le résidu après l'extraction à l'éthanol peut rendre ces protéines insolubles dans la solution acide (Van Soest, 1965). Nous avons trouvé qu'environ 95% de l'azote total des feuilles de Moringa est disponible, soit dans le rumen, soit dans le post-rumen (Tableau 12). Cette valeur est proche de celle de la digestibilité par la pepsine qui est de 92% (Makkar et Becker, 1997). Respectivement 50 et 47% des protéines totales des feuilles après extraction et fraîches sont potentiellement digestibles dans l'intestin ($PDI = \text{protéines brutes totales} - [\text{DPRB} + \text{PIDA}]$). Dans les compléments alimentaires protéiques (tourteaux de noix de coco, de graines de coton, d'arachides, de sésame, de graines de tournesol, et son de blé) cette valeur varie entre 0 et 26%, et atteint la valeur exceptionnelle de 45% pour le son de riz. Parmi les fourrages, la plus forte valeur de PDI est trouvée pour *Leucaena* (41 à 58%), suivi de *Gliricidia* (34%), et de *Centromesa pubescens* (32%). Dans les pailles de céréales, la valeur de PDI varie de 0 à 35% (Krishnamoorthy *et al.*, 1995). Negi *et al.* (1988) ont rapporté des valeurs de 11% pour la paille de blé et de 46% pour la paille de riz. Les PDI sont disponibles pour l'animal dans un objectif de production. Les fortes valeurs de teneur en protéines et de PDI observées dans les feuilles de Moringa après extraction (50%) et fraîches (47%) suggèrent que celles-ci constituent une bonne source de complément protéique pour l'alimentation des ruminants.

Tableau 12 : Niveaux de protéines brutes (PB), protéines brutes dégradables dans le rumen (PBDR), protéines insolubles au détergent acide (PIDA), et protéines potentiellement digestibles dans l'intestin (PDI) dans les feuilles de Moringa fraîches et après extraction

| Échantillon | g PB/100 g a | g PBDR/100 g b | g PIDA/100 g c | g PDI/100 g a - (b + c) |
|---------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| Feuilles fraîches | 25,1 | 12,2 (48,6) | 1,1 (4,4) | 11,8 (47,0) |
| Feuilles après extraction | 43,5 | 19,5 (44,8) | 2,2 (5,1) | 21,8 (49,9) |

(Les valeurs entre parenthèses représentent le pourcentage des protéines totales).

Azote non-protéique et azote total soluble

Le taux d'azote non-protéique (ANP) dans les feuilles de Moringa après extraction et fraîches est respectivement de 4,7 et 2,7%. On considère que l'ANP est totalement dégradé dans le rumen. Le taux d'ANP des tourteaux de jojoba, de soja, de tournesol et de colza est respectivement de 21-30%, 2,9-7,8%, 5,0% et 6,9% (Wolf *et al.*, 1994). La quantité de protéines par rapport à la matière sèche dans les feuilles après extraction et fraîches est respectivement de 20,4 et 40,8%. Le taux d'azote soluble dans une solution tampon (pH 7,0) est respectivement de 3,1 et 5,9% pour les feuilles après extraction et fraîches (soit 7,1 et 23,5% des protéines brutes totales), suggérant que la solubilité des protéines dans les feuilles de Moringa est très faible. Des résultats similaires ont été obtenus avec *M. peregrina* (Al-Khatani et Abou-Arab, 1993). Cette faible solubilité pourrait être l'un des facteurs responsable de la faible dégradabilité des protéines dans le rumen (voir plus haut).

Cinétique de la digestion

Le tableau 13 présente, pour les feuilles de Moringa après extraction et fraîches, le taux de production (c) et la production potentielle (b) de gaz selon la méthode de Menke *et al.* (1979), la quantité de fibres extraites au détergent neutre (FDN), ainsi que d'autres paramètres. Le taux de production de gaz est un indice de la rapidité avec laquelle la matière organique fermente dans le rumen. Des valeurs élevées de taux de digestion et de FDN des feuilles de Moringa indiquent une absorption efficace par les animaux. Le taux de dégradation des fibres des feuilles après extraction est plus bas que celui des feuilles fraîches, ce qui peut être attribué à la forte température (80°C) subie par les feuilles lors du séchage après le traitement à l'éthanol à 80%. La température de séchage peut diminuer significativement la dégradabilité des fibres, rendant les protéines indisponibles pour l'animal. Afin de faire le meilleur usage possible des feuilles après extraction, les feuilles devraient être séchées à faible température après le traitement à l'éthanol à 80%. Les paramètres de la cinétique de digestion (Tableau 13) suggèrent que la valeur nutritive des feuilles de Moringa est aussi bonne que celle d'autres ressources alimentaires communes telles que *Leucaena* ou le mûrier.

Tableau 13 : Taux de production (c) et production potentielle (b) de gaz selon le modèle exponentiel

| Echantillon | c (par heure) | b (mL.g ⁻¹ d'échantillon) |
|---------------------------|---------------|---|
| Feuilles / pailles | | |
| Feuilles de Moringa | | |
| - Fraîches | 0,0852 | 247,5 |
| - Après extraction | 0,0489 | 268,3 |
| Feuilles de mûrier | | |
| - Jeunes* | 0,0703 | 303,0 |
| - Matures | 0,0624 | 177,0 |
| <i>Leucaena</i> * | 0,0578 | 186,0 |
| Paille de sorgho | 0,0648 | 252,1 |
| Paille d'orge | 0,0417 | 286,7 |
| FDN | | |
| Feuilles de Moringa | | |
| - Fraîches | 0,0753 | 267,8 |
| - Après extraction | 0,0648 | 260,3 |
| Paille de sorgho | 0,0299 | 272,5 |
| Paille d'orge | 0,0340 | 302,1 |

*Données d'après Singh et Makkar (2000)

Tannins et autres facteurs anti-nutritionnels

De nombreuses plantes, en particulier des régions tropicales, contiennent des polyphénols (ou tannins). Leur consommation par les animaux provoque des effets négatifs sur la productivité et affecte leur état sanitaire. Des tannins sont présents dans de nombreux sous-produits agro-industriels tels que les gousses d'*Acacia nilotica*, les tourteaux de *Madhuca indica*, les amandes des graines de *Mangifera indica*, la cire de *Panicum miliaceum*, les tourteaux de *Garcinia indica*, les gousses de *Theobroma cacao* (Makkar *et al.*, 1990 ; Makkar et Becker, 1998). Les feuilles fraîches de Moringa contiennent des quantités négligeables de tannins (1,4%), tandis que les tannins condensés sont indétectables. La teneur en phénols totaux est de 3,4% (Tableau 14). Gupta *et al.* (1989) ont rapporté une teneur en phénol totaux de 2,7% pour les feuilles fraîches. A de telles concentrations, ces phénols simples ne produisent pas d'effets négatifs lorsqu'ils sont consommés par les animaux. Dans les feuilles après extraction, on ne détecte pas de tannins, et la teneur en phénols est très faible (1,6%). Les tannins sont solubles dans les solvants organiques aqueux tels que l'éthanol, le méthanol, l'acétone, etc... (Makkar et Singh, 1992). Ainsi, les tannins sont susceptibles d'être présents dans la préparation hormonale obtenue par extraction à l'éthanol à 80%. L'absence d'augmentation de la production de gaz suivant l'addition de polyéthylène glycol (un test biologique de la présence de tannins, basé sur l'incubation d'un aliment dans un milieu tamponné contenant des microorganismes du rumen, (Makkar *et al.*, 1995) montre également l'absence de tannins dans les feuilles après extraction et fraîches.

Un autre groupe de facteurs anti-nutritionnels dont la présence a été mentionnée dans les feuilles de Moringa sont les sucres raffinose et stachyose qui produisent des flatulences chez les monogastriques. Selon Gupta *et al.* (1989), ces composés représentent 5,6% de la matière sèche dans les feuilles fraîches de Moringa et plus encore dans les légumineuses. Toutefois, il peuvent être largement éliminés par trempage et cuisson dans l'eau (Bianchi *et al.*, 1983). Ces facteurs de flatulence sont dosés après extraction dans l'éthanol à 80% (Williams, 1984), et devraient donc être absents des feuilles de Moringa après extraction. Les autres facteurs anti-nutritionnels présents dans les feuilles fraîches de Moringa sont les nitrates (0,5 mmol/100 g), l'oxalate (4,1%), les saponines (1,2%) et les phytates (3,1%). Gupta *et al.* (1989) n'ont pas détecté d'activité d'inhibiteur de trypsine. Les phytates sont présents à raison de 1 à 5% dans les légumineuses, et sont connus pour diminuer la bio-disponibilité des minéraux chez les monogastriques (Reddy *et al.*, 1982). Les feuilles de Moringa sont relativement riches en minéraux, et la présence d'oxalates et de phytates à des taux de 4,1 et 3,1% respectivement est susceptible de diminuer la bio-disponibilité des minéraux. Les saponines de certaines plantes ont un effet négatif sur la croissance des animaux mais celles présentes dans les feuilles de Moringa apparaissent inoffensives (elles ne présentent pas d'activité hémolytique), et ces feuilles sont consommées par l'homme apparemment sans effet négatif. Makkar et Becker (1997) n'ont pas détecté de glucosides cyanogènes ni de glucosinates dans les feuilles de Moringa. La plupart des facteurs anti-nutritionnels cités ci-dessus sont solubles dans l'éthanol aqueux, et sont donc certainement absents des feuilles après extraction.

Tableau 14 : Teneurs en phénols totaux, tannins, tannins condensés, saponines, phytates, lectine et inhibiteurs de trypsine dans les feuilles de Moringa fraîches et après extraction

| Échantillon | Phénols totaux (%) | Tannins ^a (%) | Tannins condensés (%) | Saponines ^b (%) | Phytate ^c (%) |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|
| Feuilles après extraction | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 2,5 |
| Feuilles fraîches | 3,4 | 1,4 | 0,0 | 5,0 | 3,1 |

Les tannins condensés, la lectine et les inhibiteurs de trypsine ne sont pas détectés dans les deux types d'échantillons.

^aen équivalent d'acides taniques

^ben équivalent de diosgénine

^cen équivalent d'acide phytique

Essais d'engraisement des bovins à l'aide de Moringa

Des essais ont été menés avec un troupeau de 24 animaux. Pendant la journée, le troupeau se nourrissait de *gamba* (pâturage qui contient quelques plantes légumineuses). La nuit, 12 animaux (en 3 groupes de 4) se nourrissaient à satiété d'herbe de pâturage fraîchement coupée, tandis que les 12 autres se nourrissaient à satiété de Moringa haché vieux de 35 jours.

Tableau 15 : Gains de poids chez des bovins nourris à satiété pendant la nuit d'herbe de pâturage fraîchement coupée ou de Moringa haché de 35 jours

| Groupe | Gains (g/jour) | Gain moyen (g/jour) |
|-------------------------|----------------|---------------------|
| Herbe (3 x 4 animaux) | 750 – 980 | 950 |
| Moringa (3 x 4 animaux) | 1150 – 1450 | 1250 |

Le gain de poids est très supérieur dans le groupe expérimental nourri au Moringa par rapport groupe témoin nourri d'herbe de pâturage (Tableau 15). Les autres conditions (sels minéraux, eau etc.) sont identiques pour les deux groupes.

Taux de production de matières végétales fraîches dans les plantations de Moringa

Une étude comprenant de nombreux essais a été menée pour définir la densité optimale de plantation du Moringa pour obtenir un maximum de matière végétale fraîche (tiges, branches et feuilles de la plante coupée à 20-25 cm du sol). Les espacements sont compris entre 1m x 1m soit 10 000 plants à l'hectare et 2,5 cm x 2,5 cm soit 16 millions de plants à l'hectare. Ayant pris en compte un certain nombre de facteurs ayant une incidence sur les résultats d'ensemble, comme le coût des semences, la perte de plants lors des premières coupes (sélection par manque de lumière, les plus rapides faisant de l'ombre aux plus lents) ou le coût de la préparation du sol, nous avons constaté que la densité optimale dans un sol sableux, fertile et bien drainé est de 10 cm x 10 cm ou 1 million de plants à l'hectare (Tableau 16).

La densité choisie et donc le nombre de plantes éliminées dépend des objectifs de production. Si l'on souhaite par exemple produire du fourrage vert avec une teneur maximale en protéines et une teneur minimale en lignine, les coupes doivent se faire tous les 33 à 40 jours. Si l'objectif est de produire un maximum de fibres lignocellulosiques pour la production de pâte à papier, la coupe doit intervenir dans l'idéal après 6 à 8 mois de croissance. Ce laps de temps permet d'obtenir des troncs du diamètre requis avec une proportion plus réduite de feuilles, de petites branches et d'écorce afin de maximiser le pourcentage de matières ligneuses.

Le Moringa poursuit sa croissance entre les coupes, et le nombre de plants à l'hectare diminue alors très fortement à cause des différences entre leurs rythmes de croissance. En cherchant la lumière, les plantes de plus grande taille l'emportent progressivement sur les plantes plus petites ou à croissance plus lente. 35 jours après la plantation, la hauteur moyenne des plantes est de 1,6 à 2 mètres et la concurrence n'est pas encore très forte. Les différences de hauteurs entre les arbres à ce stade varient de 10 à 40 cm (les pertes dues au manque de lumière sont compensées par les pousses qui se développent sur les souches, généralement 6 à 10 par tige suivant la taille de celle-ci).



Photo 2 : Production intensive de Moringa pour le fourrage (Foidl)

Tableau 16 : Paramètres de production du Moringa lors de la première coupe

| Densité de plantation (Plants/ha) | Matières fraîches (t/ha/coupe) | Matières sèches (t/ha) | Protéines (kg/ha) | Pertes de plants après la première coupe |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|--|
| 95 000 | 19,6 | 3,33 | 566 | n.d |
| 350 000 | 29,7 | 5,05 | 859 | n.d. |
| 900 000 | 52,6 | 8,94 | 1 520 | n.d. |
| 1 000 000 | 78,0 | 13,26 | 2 254 | Environ 2% |

n.d. = non déterminé

Suite aux premiers essais, seul celui à 1 million de plants à l'hectare (espacement optimal) a été poursuivi. La plantation a été observée pendant quatre ans, 9 coupes étant pratiquées chaque année. Il convient de noter que ce rythme de coupe élevé n'est possible qu'avec un régime de fertilisation et d'irrigation rigoureux. Cependant, même en irriguant de façon régulière et systématique tout au long de l'année, le rendement des coupes présente des variations significatives entre la saison sèche et la saison des pluies. Le rendement des coupes en saison sèche peut ne pas dépasser les 45 tonnes/ha, tandis qu'en saison des pluies, il atteint parfois 115 tonnes/ha.

Dans les petites zones d'essai (10 m²), nous avons essayé des densités de 4 millions de plants/ha et de 16 millions de plants/ha. Les résultats de ces essais sont indiqués dans le Tableau 17.

Tableau 17 : Paramètres de production du Moringa lors de la première coupe sur les parcelles expérimentales plantées à haute densité.

| Densité (Plants / ha) | Matières fraîches (tonnes / ha) | Matières sèches (tonnes / ha) | Protéines (kg / ha) | Perte de plants après la première coupe |
|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--|
| 4 millions | 97,4 | 16,56 | 2 815 | Environ 25 % |
| 16 millions | 259,0 | 44,03 | 7 485 | Environ 40 % |

Les pertes sont toujours très élevées lors de la coupe suivante. Un calcul par interpolation montre qu'au bout de 4-6 coupes il ne resterait de toute façon qu'environ 1 million de plants à l'hectare. Compte tenu du coût élevé des semences et des difficultés liées au maintien d'un espacement régulier de 2.5 cm x 2.5 cm sur des superficies plus importantes, nous avons abandonné ce modèle. Toutefois, nous sommes de l'avis que si le producteur a pour unique objectif de maximiser la production de biomasse, racines comprises, les semis à haute densité entretenus à l'aide de technologies hydroponiques sont susceptibles de donner des très grandes quantités de biomasse à l'hectare (jusqu'à 1 000 tonnes/ha par an).

Les essais avec 1 million de plants à l'hectare et 9 coupes par an sur 4 ans donnent une production moyenne de matières fraîches de 580 tonnes/ha/an, soit environ 99 tonnes de matières sèches. Cette quantité de matière sèche contient en moyenne 16,8 tonnes de protéines, 9,9 tonnes de glucides, 7,9 tonnes d'amidon et 4,9 tonnes de lipides.

Du fait de la très faible teneur en lignine (environ 5 %), la fraction hémicellulosique et cellulosique est très élevée. En procédant à la co-fermentation de l'amidon, de l'hémicellulose et de la cellulose pour les transformer en sucres puis en alcool, le potentiel de production d'alcool est de plus de 20 000 litres à l'hectare et par an.

Au bout de quelques années, la masse racinaire du Moringa représente une proportion importante de la masse globale de la plante. D'après nos connaissances, la productivité du Moringa en plantation dépasse celle de toutes les autres essences de plantation. Il serait nécessaire de poursuivre ces expériences pour déterminer si un tel rythme de production peut réellement être maintenu sur le long terme, et à quel prix. De gros apports de minéraux à l'hectare seraient nécessaires pour maintenir ce niveau de productivité sur une densité de 1 million de plants à l'hectare. Une évaluation systématique des besoins en engrais est nécessaire.

Conclusion sur l'utilisation de Moringa comme fourrage

La teneur en matières azotées totales (MAT) des feuilles de Moringa après extraction ou fraîches est élevée (respectivement 43,5 % et 25,1 %), la teneur en matières azotées apparemment digestibles (MAD) s'élevant à plus de 95 %. Nous avons constaté qu'environ 95 % des protéines brutes totales sont disponibles au niveau du rumen ou du post-rumen. Ces données suggèrent que les feuilles de Moringa, avant ou après extraction, représentent une bonne source de protéines supplémentaires pour les vaches très productives.

Des taux de digestion des FDN (indice de rapidité de la fermentation d'un aliment ou de fibres dans le rumen) plus élevés sont observés tant pour les feuilles fraîches de *M. oleifera* que pour les feuilles après extraction, ce qui suggère une bonne qualité de fibres également. Il est intéressant de noter que le taux de dégradation des fibres des feuilles après extraction est nettement plus faible que pour les feuilles fraîches, ce qui pourrait s'expliquer par la température élevée (80°C) subie par les feuilles pendant leur séchage suite au traitement à l'éthanol aqueux à 80%. Puisque notre but consiste à optimiser l'utilisation des feuilles de Moringa après extraction, de nouvelles études sont indispensables pour trouver une température de séchage adéquate après le traitement à l'éthanol qui ne produit pas ces effets négatifs.

Les feuilles de Moringa ont une teneur négligeable en tannins et en saponines, à peu près semblable à celle du tourteau de soja. Nous n'avons détecté ni inhibiteur de trypsine ni lectine. La teneur en phytates de 3,1 % pourrait réduire la disponibilité des sels minéraux chez les animaux monogastriques. Les extraits de feuilles à 80% d'éthanol aqueux représentent une meilleure source de fourrage encore (supplément protéique) puisque ces substances sont exemptes de tannins (lectines, inhibiteurs de trypsine, glucosides cyanogènes, glucosinolates et facteurs de flatulents) et présentent de faibles taux de saponines et de phytates.

Pour les rachis et les tiges, la teneur en protéines brutes est faible (respectivement 7 et 6%, dont 40 et 48 % sont composés d'azote non protéique) de même que la disponibilité des protéines au niveau du post rumen (Makkar et Becker, 1997), c'est à dire la partie inférieure de l'intestin où les acides aminés, non dégradés au niveau du rumen, sont absorbés. Cette fraction protéique est importante pour la production de lait et s'obtient normalement par la consommation de protéines concentrées dans les tourteaux de presse, non dégradées par l'activité bactérienne du rumen.

Tous les acides aminés essentiels, y compris ceux qui contiennent du soufre, présentent dans les feuilles des concentrations supérieures aux schémas FAO/OMS recommandés dans la protéine de référence pour les enfants de 2 à 5 ans. La composition des acides aminés essentiels dans ces feuilles est semblable à celle des fèves de soja. Ces données suggèrent que le Moringa représente un bonne source de protéines pour les animaux monogastriques également.

Les amandes et le tourteau de Moringa pour l'alimentation du bétail

Les amandes de Moringa peuvent être broyées et l'extrait aqueux utilisé pour purifier l'eau. Cet extrait aqueux peut substituer de façon viable les coagulants chimiques tels que le sulfate d'aluminium dans les pays en développement. L'huile de Moringa est comestible, et l'extrait aqueux du tourteau de graines (obtenu après extraction de l'huile) peut être utilisé à des fins de purification de l'eau. Nous avons cherché à caractériser le résidu obtenu pour sa valorisation dans l'alimentation du bétail. Nous avons analysé les constituants chimiques, la digestibilité de la matière organique, l'énergie brute et métabolisable, l'azote dégradable dans le rumen, l'azote non

protéique, la dégradabilité des protéines à la pepsine et enfin les facteurs anti-nutritionnels présents dans les amandes, le tourteau de graines (amandes broyées après extraction de l'huile) et les résidus obtenus après en avoir éliminé les coagulants solubles dans l'eau. Les résultats, associés aux données déjà exposées sur les utilisations fourragères du Moringa, devraient ouvrir la voie vers une meilleure valorisation fourragère des fractions et résidus obtenus par l'extraction d'huile, d'hormones de croissance et de coagulants.

Solubilité des amandes et du tourteau dans l'eau

La perte de matière sèche des amandes et du tourteau subséquente à l'extraction aqueuse est respectivement de 20,5 et 41,8%. Si l'on considère ces valeurs de solubilité et la teneur en protéines brutes des amandes, des amandes après extraction, du tourteau et du tourteau après extraction, il s'avère que 23,7 et 33,4% des protéines brutes présentes dans les amandes et dans le tourteau respectivement passent dans l'extract aqueux.

Constituants chimiques

Les amandes contiennent 36,8% de protéines brutes et 41,7% de lipides. Les résidus restants après l'extraction aqueuse des amandes et du tourteau contiennent respectivement 35,3 et 70,3% de protéines brutes. L'azote non protéique des amandes et du tourteau constitue seulement environ 9% des protéines brutes totales, et n'est pas détecté dans les échantillons après extraction, suggérant que ces échantillons contiennent des quantités importantes de protéines.

Dégradabilité des protéines

La DPBR des amandes et du tourteau est respectivement de 64 et 61%. Des valeurs similaires ont été obtenues avec d'autres tourteaux de presse (Krishnamoorthy *et al.*, 1995). La DPBR des amandes et du tourteau après extraction est beaucoup plus faible (36 et 28%). La teneur en protéines solubles déterminée par digestion à la pepsine varie entre 82 et 91%, et la fraction PIDA ne représente que 1 à 2% (Makkar et Backer, 1997). La faible valeur de DPRB, la forte concentration en azote soluble sensible à la dégradation par la pepsine, et la faible proportion de PIDA suggèrent que la plupart des protéines dans les amandes et le tourteau après extraction doit être disponible pour l'animal post-rumen (les PDI représentant 62 à 69% des protéines brutes). Rappelons que les PDI sont disponibles pour l'animal dans un objectif de production. Dans les compléments alimentaires protéiques tels que les tourteaux de noix de coco, de graines de coton, d'arachide, de sésame, de tournesol et de son de blé, les valeurs de PDI varient de 0 à 26%, seul le son de riz présentant une valeur exceptionnelle de 45% (Krishnamoorthy *et al.*, 1995).

Composition en acides aminés

Parmi les acides aminés essentiels, la lysine, la leucine, la phénylalanine, la tyrosine et la thréonine sont présents en quantité insuffisante dans les amandes, le tourteau et leur extrait aqueux par rapport à la protéine standard de la FAO. En revanche, les acides aminés soufrés sont plus abondants (Tableau 16). La composition en acides aminés des amandes et du tourteau de Moringa est telle qu'on pouvait l'attendre. A la fois pour les amandes et le tourteau, les valeurs augmentent après extraction. Cette plus forte concentration en acides aminés après l'extraction aqueuse peut s'expliquer en partie par une perte d'azote non protéique lors de l'extraction. Il apparaît dans le tableau 18 que la composition en acides aminés des protéines solubles et insolubles est similaire.

Facteurs anti-nutritionnels dans les amandes, le tourteau et l'extract aqueux

Dans les amandes ayant subi ou non l'extraction aqueuse, on ne détecte pas de tannins, ni d'inhibiteurs de trypsine et d'amylase. Le taux de saponines est également faible, s'élevant respectivement à 1,1, 1,4, 0,5 et 0,6% dans les amandes et le tourteau, avant et après extraction. Le traitement à l'eau des amandes et du tourteau afin d'extraire les composés solubles actifs pour la purification de l'eau entraîne une perte de 50% des saponines. Seuls les amandes, avant et après extraction, présentent une activité hémolytique.

Le teneur en phytates dans les amandes est supérieure à celle trouvée dans les parties végétatives (Tableau 19). Le taux de phytates est supérieur dans les amandes après l'extraction, suggérant que les phytates ne passent pas dans l'extract aqueux. Des taux de phytates de 3,0 et 6,7% observés dans les amandes et le tourteau après extraction sont susceptibles de diminuer la bio-disponibilité des minéraux, en particulier du Zn et du Ca. Ce taux de phytates est du même ordre de grandeur que celui observé dans les compléments protéiques conventionnels (tourteau de soja : 3,2 à 3,8%, tourteau de colza : 6,0 à 7,3%, tournesol : 6,2 à 9,2%, tourteau d'arachide : 3,2 à 4,3% (Pointillard, 1993)). Des taux de phytates de 1 à 6% sont suffisants pour réduire la bio-

disponibilité des minéraux chez les monogastriques (Reddy *et al.*, 1982). Les phytates provoquent également une diminution de la digestibilité de l'amidon et des protéines (Thompson, 1993).

Les teneurs en glucosides cyanogènes sont respectivement, dans les amandes et le tourteau, avant et après extraction, de 5,2, 13,1, 15,3 et 31,2 mg équivalent HCN/kg (Tableau 19). Ces données ont été obtenues en utilisant de la α -glucosidase exogène pour l'hydrolyse des glucosides. En utilisant la méthode d'auto-hydrolyse, on trouve dans les amandes 5,0 mg équivalent HCN/kg. Les taux de glucosides cyanogènes rencontrés dans les amandes avant et après extraction sont largement en-deçà des limites fixées par la réglementation européenne (moins de 100 mg équivalent HCN/kg pour les tourteaux de manioc et d'amandes et moins de 250 mg équivalent HCN/kg pour la tourteau de lin). De plus, selon la réglementation européenne sur l'alimentation animale, la teneur en glucosides cyanogènes pour une ration complète ne doit pas excéder 50 mg équivalent HCN/kg, et 10 mg équivalent HCN/kg pour les poulets. Pour la consommation humaine, la valeur limite fixée par la FAO et l'OMS est de 10 mg équivalent HCN/kg de tourteau (FAO/OMS, 1991).

Tableau 18 : Composition en acides aminés (en g/16 g N) de la tourteau de Moringa, avant et après extraction

| Acide aminé | Tourteau avant extraction | Tourteau après extraction |
|------------------|---------------------------|---------------------------|
| Lysine | 1,47 | 1,48 |
| Leucine | 5,27 | 5,84 |
| Isoleucine | 3,05 | 3,49 |
| Méthionine | 1,90 | 2,13 |
| Cystine | 4,22 | 4,72 |
| Phénylalanine | 3,97 | 4,29 |
| Tyrosine | 1,50 | 1,41 |
| Valine | 3,47 | 3,63 |
| Histidine | 2,27 | 2,28 |
| Thréonine | 2,25 | 2,28 |
| Sérine | 2,75 | 2,85 |
| Acide glutamique | 19,35 | 19,63 |
| Acide aspartique | 3,97 | 3,76 |
| Proline | 5,52 | 6,04 |
| Glycine | 4,90 | 4,40 |
| Alanine | 3,77 | 4,05 |
| Arginine | 11,63 | 16,68 |
| Tryptophane | Non déterminé | Non déterminé |

Les teneurs en glucosinates (glycosides contenant du soufre) dans les amandes, le tourteau, et les amandes après extraction, sont respectivement de 46,4, 65,5 et 4,4 $\mu\text{mol.g}^{-1}$. Dans le tourteau après extraction, on ne détecte pas de glucosinates (Tableau 19). Les niveaux de glucosinates observés dans les amandes et le tourteau sont du même ordre de grandeur que ceux rencontrés dans le tourteau de colza (Saini et Wratten, 1987 ; Smith et Dacombe, 1987), et dans les graines de *Camelina sativa* (Lange *et al.*, 1995). Bien que certains glucosinates contribuent en grande partie à la saveur et aux arômes des aliments, d'autres sont potentiellement nocifs pour la santé, et il est communément admis que des niveaux élevés de glucosinates dans les aliments les rendent impropres à la consommation (Heaney *et al.*, 1981). Ces glucosinates peuvent subir des hydrolyses chimiques ou enzymatiques provoquant l'apparition de produits ayant des propriétés anti-nutritionnelles altérant la croissance et la reproduction du bétail. Chez le porc, la fertilité de la truie est altérée au-delà de 4 μmol de glucosinates totaux/g de nourriture, et 8 mmol d'ingestion quotidienne. Chez le rat, un régime alimentaire contenant plus de 2,7 μmol de glucosinates/g d'aliment augmente la mortalité des petits, probablement à cause du transfert des produits nocifs dans le lait maternel. Enfin chez la vache, suite à une ingestion quotidienne de 75 mmol de glucosinates par individu femelle, on observe une augmentation considérable de nombre de jours entre la vélotion et la première reproduction des génisses (Mawson *et al.*, 1994).

Tableau 19 : Teneur en phénols totaux, tannins, tannins condensés, saponines, phytates, et glucosides dans les échantillons de Moringa

| Échantillon | Phénols totaux ^a (%) | Saponines ^b (%) | Phytates ^c (%) | Glucosides cyanogènes (mg.kg ⁻¹) | Glucosinates (□mol.kg ⁻¹) |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Amandes | 0,02 | 1,1 | 2,6 | 5,2 | 46,4 |
| Tourteau | 0,04 | 1,4 | 4,1 | 13,1 | 65,5 |
| Amandes après extraction | 0,07 | 0,5 | 3,0 | 15,3 | 4,4 |
| Tourteau après extraction | 0,07 | 0,6 | 6,7 | 31,2 | Non détecté |

Les tannins ne sont pas détectables.

^aéquivalent acide tannique, ^béquivalent diosgénine, ^céquivalent acide phytique

Dans les amandes et les amandes après extraction, on n'observe pas de spot positif correspondant à la présence d'alcaloïdes, par contre, on en observe dans les amandes dégraissées. Ceci pourrait s'expliquer par une absence d'extraction des alcaloïdes en présence de lipides. Dans les amandes dégraissées, on observe trois spots positifs correspondant à la présence d'alcaloïdes, avec des valeurs de R_f de (moyenne \pm déviation standard (n)) : $0,227 \pm 0,011$ (4) ; $0,69 \pm 0,008$ (4) et $0,798 \pm 0,021$ (5). L'intensité colorimétrique du spot ayant une valeur de R_f de 0,69 est la plus forte, suivie de ceux de $R_f=0,227$ et de $R_f=0,798$. Dans le tourteau après extraction, un seul spot de valeur de R_f $0,78 \pm 0,01$ est observé, dont l'intensité est similaire à celle observée pour le tourteau sans extraction. Une quantité substantielle d'alcaloïdes est donc éliminée de le tourteau par le traitement à l'eau.

Conclusions sur l'utilisation des amandes pour l'alimentation du bétail

Le tourteau présente une teneur plus élevée en PB que les amandes, et les protéines sont plus solubles, ce qui suggère que les coagulants protéiques utilisés pour purifier l'eau peuvent aussi être récupérés du tourteau. Un meilleur taux de récupération des coagulants protéiques présents dans le tourteau améliorerait l'économie globale du système. L'huile ainsi récupérée peut être valorisée pour la consommation humaine mais aussi pour d'autres besoins comme l'éclairage ou la lubrification. Les résidus obtenus après extraction des coagulants du tourteau peuvent offrir une bonne source de suppléments protéiques, en raison de : i) leur teneur élevée en protéines brutes (environ 70 %), toutes sous forme de protéines apparemment digestibles, ii) la disponibilité élevée de protéines au stade posttrimal (69 % de l'ensemble des protéines) et la bonne digestibilité des protéines par la pepsine, iii) la présence quasi nulle ou négligeable de facteurs anti-nutritionnels comme les tannins, les saponines, les alcaloïdes, les inhibiteurs de trypsine et d'amylase, la lectine, les glucosides cyanogènes et les glucosinolates, et iv) les concentrations en acides aminés soufrés supérieures à celles de la protéine de référence recommandée par la FAO et l'OMS pour les enfants de 2 à 5 ans. La présence de phytates à environ 6,7% a probablement pour effet de diminuer la bio-disponibilité des minéraux. Le résidu obtenu après extraction des coagulants des amandes de Moringa dégraissées (tourteau) peut remplacer certaines tourteaux de graines classiques. Celle-ci pourrait constituer une bonne source d'acides aminés soufrés pour les animaux produisant des fibres (par exemple les lapins Angora, les moutons et les chèvres), dans un régime alimentaire mixte contenant des niveaux suffisants en autres acides aminés essentiels.

Cependant, avant de formuler des recommandations pour les agriculteurs, des expériences *in vivo* sont nécessaires pour étudier les différents paramètres de performance et les éventuelles manifestations de toxicité dues à des facteurs non pris en compte dans cette étude. Il est à noter que la présence d'acides aminés soufrés en quantité importante devrait apporter aux animaux une certaine protection contre certains facteurs toxiques, ces acides aminés étant connus pour améliorer les processus de détoxification, en agissant comme donneurs de groupements méthyl dans plusieurs organes.

Les amandes de la variété *M. oleifera* utilisées dans nos essais sont amères, mais le goût amer est quasiment absent dans le résidu après extraction des coagulants des amandes dégraissées. Ce goût amer est généralement attribué aux alcaloïdes, aux saponines et aux glucosides cyanogènes et glucosinates qui ont été éliminés lors du traitement aqueux (Tableau 19), suggérant que ce goût amer n'est pas un frein à l'utilisation des ces tourteaux dans l'alimentation animale. Il existe une diversité génétique considérable entre les espèces *M. oleifera* et *M. stenopetala*, ainsi qu'au sein de chaque espèce (Muluvi *et al.*, 1999). D'après la bibliographie, il existe de nombreuses variétés dont le goût des amandes varie entre doux et très amer (CSIR, 1962 ; Dogra *et al.*, 1975). Notre étude montre que les composantes anti-nutritionnelles des amandes ou leurs produits dégradés, par exemple les glucosinolates dont on sait qu'ils sont à l'origine de différents effets adverses (Mawson

et al. 1994, 1995), sont ingérés par les humains dans l'eau potable, ce qui est susceptible de produire des modifications cliniques ou subcliniques des organes internes. Ceux qui travaillent dans ce domaine sont conscients du problème, et il existe des études qui montrent que des rats et des souris ont ingéré ces amandes sans manifester de symptômes toxiques apparents (Barth et al., 1982; Berger et al., 1984). Cependant, des études approfondies sont nécessaires dans cette optique, compte tenu du fait que plusieurs variétés de *M. oleifera* sont actuellement utilisées.

Remerciements: Nous souhaitons remercier en particulier Sucher et Holzer, Autriche, et l'Université de Hohenheim a Stuttgart pour leur concours financier qui a permis la réalisation de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- AL-KAHTANI, H.A. & ABOU-ARAB, A.A. (1993). Comparison of physical, chemical, and functional properties of *Moringa peregrina* (Al-Yassar or Aö-Ban) and soyabean proteins. *Cereal Chemistry* **70**, 619-626.
- BARTH, V.H., HABS, M., KLUTE, R., MÜLLER, S. & TAUSCHER, B. (1982). Trinkwasseraufbereitung mit Samen von Moringa oleifera Lam. *Chemiker-Zeitung* **106**, 75-78.
- BAU, H.-M., VILLAUME, C., LIN, C.-F., EVRARD, J., QUEMENER, B., NICOLAS, J.-P. & MÉJEAN, L. (1994). Effect of a solid-state fermentation using *Rhizopus oligosporus* sp. T-3 on elimination of antinutritional substances and modification of biochemical constituents of defatted rapeseed meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **65**, 315-322.
- BERGER, M.R., HABS, M., JAHN, S.A.A. & SCHMAHL, D. (1984). Toxicological assessment of seeds from *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*, two highly efficient primary coagulants for domestic water treatment of tropical raw waters. *East African Medical Journal* **61**, 712-716.
- BIANCHI, M.L.P., SILVA, H.C. & CAMPOS, M.A.D. (1983). Effect of several treatments on the oligosaccharide content of a Brazilian soybean variety. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. **31**, 1364-1366.
- CHAWLA, S., SAXENA, A. & SESHADRI, S. (1988). In-vitro availability of iron in various green leafy vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **46**, 125-127.
- CLOSE, W. & MENKE, K.H. (1986). Selected Topics in Animal Nutrition: a manual. Institute for Animal Nutrition, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
- COUNCIL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH (1962). *The wealth of India. A dictionary of Indian raw materials and industrial products. Raw materials, Volume 6, L-M*, New Delhi, CSIR, India.
- DELAVEAU, P. & BOITEAU, P. (1980). Huiles à intérêt pharmacologique, cosmétologique et diététique. IV. Huiles de Moringa oleifera Lamk. et de M. Drouhardii Jumelle. *Plantes médicinales et phytothérapie*. **14**, 29-33.
- DOGRA, P.D., SINGH, B.P. & TANDON, S. (1975). Vitamin content in Moringa pod vegetable. *Current Science* **44**, 31.
- FAO/WHO (1991). *Joint FAO/WHO Food Standard Programme, Codex Alimentarius Commission, XII, supplement 4*, FAO/WHO, Rome.
- FERRAO, A.M.B.C. & MENDEZ FERRAO, J.E. (1970). Ácidos gordos em óleo de Moringueiro (*Moringa oleifera* Lam.). *Agronomia Angolana*. **8**, 3-16.
- GUPTA, K., BARAT, G.K., WAGLE, D.S. & CHAWLA, H.K.L. (1989). Nutrient contents and antinutritional factors in conventional and non-conventional leafy vegetables. *Food Chemistry* **31**, 105-116.
- HEANEY, R.K., SPINKS, E.A. & FENWICK, G.R. (1981). A micro-column method for the rapid determination of total glucosinolate content of cruciferous material. *Zeitschrift fuer Pflanzenzuechtung* **87**, 89-95.
- KRISHNAMOORTHY, U., SOLLER, H., STEINGASS, H. & MENKE, K.H. (1995). Energy and protein evaluation of tropical feedstuffs for whole tract and ruminal digestion by chemical analyses and rumen inoculum studies in vitro. *Animal Feed Science and Technology* **52**, 177-188.
- LANGE, R., SCHUMANN, W., PETRZIKA, M., BUSCH, H. & MARQUARD, R. (1995). Glucosinolate in Leindottersamen. *Fat Science Technology* **4**, 146-152.
- MAKKAR, H.P.S., SINGH, B. & NEGI, S.S. (1990). Tannin levels and their degree of polymerization and specific activity in some agro-industrial by-products. *Biological Wastes* **31**, 137-144.
- MAKKAR, H.P.S. & SINGH, B. (1992). Detanninification of oak leaves: treatments and their optimization. *Animal Feed Science Technology* **36**, 113.

MAKKAR, H.P.S., BLUEMEL, M. & BECKER, K. (1995). Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implications in gas production and true digestibility in vitro techniques. *British Journal of Nutrition* **73**, 897-913.

MAKKAR, H.P.S. & BECKER, K. (1996). Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science and Technology* **63**, 211-228.

MAKKAR, H.P.S. & BECKER, K. (1997). Nutrients and antinutritional factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **128**, 311-322.

MAKKAR, H.P.S. & BECKER, K. (1998). Plant toxins and detoxification methods to improve feed quality of tropical seeds. *Asian-Australian Journal of Animal Science* **12**, 467-480.

MAWSON, R., HEANEY, R.K., ZDUNCZYK & KOZLOWSKA, H. (1994). Rapeseed meal-glucosinolates and their antinutritional effects Part 5. Animal reproduction. *Die Nahrung* **38**, 588-598.

MAWSON, R., HEANEY, R.K., ZDUNCZYK & KOZLOWSKA, H. (1995). Rapeseed meal-glucosinolates and their antinutritional effects Part 6. Taint in end-products. *Die Nahrung* **39**, 21-31.

MENKE, K.H., RAAB, L., SALEWSKI, A., STEINGASS, H., FRITZ, D. & SCHNEIDER, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor. *Journal of Agricultural Food Science* **93**, 217-222.

MORTON, J.F. (1991). The Horseradish Tree, *Moringa Pterygosperma* (Moringaceae) - A Boon to Arid Lands? *Economic Botany* **45**, 318-333.

MULVI, G.M., SPRENT, J.I., SORANZO, N., PROVAN, J., ODEE, D., FOLKLAND, G., McNICOL, J.W. & POWELL, W. (1999). Amplified fragment length polymorphism (AFLP) analysis of genetic variation in *Moringa oleifera* Lam. *Molecular Ecology* **8**, 463-470.

NEGI, S.S., SINGH, B. & MAKKAR, H.P.S. (1988). An approach to determination of rumen degradability of nitrogen in low grade roughages and partition of nitrogen therein. *Journal of Agricultural Science* **111**, 487-494.

NEGI, S.S., SINGH, B. & MAKKAR, H.P.S. (1989). Influence of method of calculation and length of period of rumen fermentation on the effective degradability of dry matter and nitrogen in some tree forages. *Animal Feed Science and Technology* **26**, 309-322.

ODEE, D. (1998). Forest biotechnology research in drylands of Kenya: the development of *Moringa* species. *Dryland Biodiversity* **2**, 7 - 8.

POINTILLART, A. (1993). Importance of phytate and cereal phytates in the feeding of pigs. In *Enzymes in Animal Nutrition* (Eds C. Wenk & M. Boessinger), pp. 192-198. Proceedings of the first Symposium, Karauze Ittingen, Switzerland, 13-16 October, ETH-Zuerich.

PROYECTO BIOMASA (1996). *Internal Report*, UNI Managua.

PROYECTO BIOMASA (1999). *Internal Report*, UNI Managua.

RAMACHANDRAN, C., PETER, K.V. & GOPALAKRISHNAN, P.K. (1980). Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany* **34**, 276-283.

REDDY, N.R., SATHE, S.K. & SALUNKHE, D.K. (1982). Phytates in legumes and cereals. *Advances in Food Research* **28**, 1-92.

SAINI, H.S. & WRATTEN, N. (1987). Quantitative determination of total glucosinolates in rapeseed and meal digests. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry* **70**, 141-145.

SARKAR, G. & PEACE, R.W. (1994). The protein quality of some enteral products is inferior to that of casein as assessed by rat growth methods and digestibility-corrected amino acid scores. *Journal of Nutrition* **124**, 2223-2232.

SINGH, B. & MAKKAR, H.P.S. (2000). The potential of mulberry tree foliage as an animal feed supplement in India. FAO Electronic Conference on Mulberry for Animal Production, April 2000, Rome, Italy.

SMITH, C.A. & DACOMBE, C. (1987). Rapid method for determining total glucosinolates in rapeseed by measurement of enzymatically released glucose. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **38**, 141-150.

THOMPSON, L.U. (1993). Potential health benefits and problems associated with antinutrients with foods. *Food Research International* **26**, 131-149.

VAN SOEST, P.J. (1965). Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. *Journal of the Association of Analytical Chemistry* **48**, 785-790

WILLIAMS, S., 1984. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC, Virginia, USA.

WOLF, W.J., SCHAER, M.L. & ABBOTT, T.P. (1994). Nonprotein nitrogen content of defatted jojoba meals. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **65**, 277-288.

ZARKADAS, C.G., YU, Z. & BURROWS, V.D. (1995). Protein quality of three new Canadian-developed naked oat cultivars using amino acid compositional data. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **43**, 415-421.